T.C.

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİR YERALTI KÖMÜR MADENİNDE KÖMÜRÜN KENDİ KENDİNE YANMASINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN ANALİZİ

Gursel AXUNDOV

DANIŞMAN
Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2021

Bu çalışma, 17.01.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN(Danışman)

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Deniz ADIGÜZEL

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Abdullah FİŞNE

İstanbul Teknik Üniversitesi

Maden Fakültesi

Unvan Bir öğe seçin.

Bir öğe seçin.

Bir öğe seçin.

Unvan Bir öğe seçin.

Bir öğe seçin.

Bir öğe seçin.

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğreti Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Öncelikle, Yüksek lisans eğitimimde baştan sona kadar yardımlarını benden esirgemeyen değerli danışmanım Ataç BAŞÇETİN'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Çalışmamın her safhasında bilgilerinden daima faydalandığım Doç. Dr. Deniz ADIGÜZEL hocama, her zaman desteğini benden esirgemeyen Araş. Gör. Dr. Serkan TÜYLÜ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın sahasında gösterdiği yardımlarından dolayı Garp Linyitleri İşletmesi İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı Mehmet AYHAN beye şükranlarımı sunarım.

Üniversite hayatım boyunca manevi desteğini hissettiğim değerli dostum Yüksek lisans öğrencisi Akmal HAMRAYEV'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca maddi ve manevi desteğini her zaman benden esirgemeyen aileme içten teşekkür ederim.

Aralık 2021 Öğrenci Gursel AXUNDOV

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **ix**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **x**
ÖZET ..... **xi**
SUMMARY ..... **xiii**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **3**
2.1 KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMA MEKANİZMASI 3
2.1.1 KÖMÜR OKSİDASYON MEKANİZMASI 5
2.2 KENDİLİĞİNDEN YANMA İLE İLGİLİ TEORİLER 6
2.3 KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMASINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER 9
2.3.1 Kömürün Fiziksel Kimyasal ve Petrografik Özellikleri 9
2.3.2 Jeolojik özellikleri 13
2.3.3 Atmosferik Koşullar 14
2.4. HAVALANDIRMA PARAMETRELERİNİN KENDİ KENDİNE YANMA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ 14
2.5. GÖÇÜK İÇERİSİNDEKİ KENDİ KENDİNE YANMA OLAYI VE TAHMİN MODELLERİ 17
3. MALZEME VE YÖNTEM **22**
3.1 ÇALIŞMA SAHASININ TANITIMI 22
3.2 ÜRETİM YÖNTEMİ 22
3.3 KÖMÜRÜN GAZ İÇERİĞİ 25
3.4 ÇALIŞMA SAHASINDAKI KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMA ÖZELLİKLERİ 28
3.5 HAVALANDIRMA YÖNTEMİ 29
4. BULGULAR **31**
4.1 HAVALANDIRMA OPTİMİZASYONU 31
4.2 HAVALANDIRMA ÖLÇÜM ANALİZLERİ 36

5.TARTIŞMA VE SONUÇ **45**

KAYNAKLAR **46**
EKLER **53**
ÖZGEÇMİŞ **55**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Zamana karşı oksidasyon oranı ve sıcaklık yükselişi (McPherson, 2008)..... 5

Şekil 2.2: Kendiliğinden ısınmadan dolayı kokunun sıcaklıkla değişimi (Yalçın ve Gürgen, 2006)..... 6

Şekil 2.3: Sıcaklık artısına bağlı olarak oksijen azalması ve CO derişimi (Ören, 2006)..... 12

Şekil 2.4: Göçük zonunda gizli yangının basınç dengelenmesi ile kontrolü (McPherson 2008)..... 16

Şekil 2.5: Göçükdeki gizli yangın bölgeleri (McPherson, 2008)..... 18

Şekil 3.1: GLİ Tunçbilek yer bulduru haritası..... 22

Şekil 3.2: Ömerler ocağı üretim yönteminin uzunayak pano (a) ve kesit (b) görüntüsü..... 23

Şekil 3.3: A2 Pano Boyutları..... 24

Şekil 3.4: Ömerler Yer altına ait Hava Akım Şeması (GLİ Tunçbilek Ömerler, 2019)..... 29

Şekil 4.1: A2 Paneline ait Havalandırma Sistemi..... 31

Şekil 4.2: Ventsim Paket Programında Oluşturulan Model..... 34

Şekil 4.3: Ventsim Paket Programında Galeri Direnç Hesaplaması..... 35

Şekil 4.4: 7. İstasyona Ait CO_2 Değişimi..... 36

Şekil 4.5: 7.İstasyona Ait O_2 Değişimi..... 37

Şekil 4.6: 7. İstasyona Ait CO Değişimi..... 38

Şekil 4.7: 7. İstasyona Ait CH_4 Değişimi..... 38

Şekil 4.8: 7. İstasyona Ait Sıcaklık Değişimi..... 39

Şekil 4.9: 7. İstasyona Ait Nem Değişimi..... 39

Şekil 4.10: 9. İstasyona Ait CO2 Değişimi..... 40

Şekil 4.11: 9. İstasyona Ait O_2 Değişimi..... 40

Şekil 4.12: 9. İstasyona Ait CO Değişimi..... 41

Şekil 4.13: 9. İstasyona Ait CH_4 Değişimi..... 42

Şekil 4.14: 9. İstasyona Ait Sıcaklık Değişimi 42

Şekil 4.15: 9. İstasyona Ait Nem Değişimi..... 43

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Kendi kendine yanma olayının meydana gelişi (Demirbilek, 1986; Çakır, 2003) 4

Tablo 2.2: Kendiliğinden Yanmayı Etkileyen Başlıca Faktörler (Feng Vd., 1973) 4

Tablo 2.3: Çeşitli Parametrelerin Kömür Oksidasyon Oranı Üzerine Etkisi (Wade, 1988; Eroğlu ve Gouws, 1993) 8

Tablo 3.1: A2 Kömür Üretim Paneli ve Çevre Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri 24

Tablo 3.2: A2 Kömür Üretim Paneli ve Çevre Kayaçların Permeabilite Değerleri 24

Tablo 3.3: Kömürün Kimyasal Analiz Sonuçları (Fişne vd, 2016) 26

Tablo 3.4: A1 ve A2 Panolarından Alınan Kömürün Gaz İçeriği Sonuçları (Fişne vd, 2016) 26

Tablo 3.5: Kömür Damarlarının Gazlılık Durumuna Göre Sınıflandırılması (Thakur, 2011) 27

Tablo 4.1: Gerekli Hava Miktarları 32

Tablo 4.2: Galeri Özellikleri 33

Tablo 4.3: Simülasyon Programı ve Ölçüm Sonuçları ile Hesaplanan Değerler 35

Tablo 4.4: Farklı Kazı Adımlarındaki Havalandırma Değerleri 36

Tablo 4.5: 2018 Yılı Ocak İçi Ölçüm Sonuçları (yangın dönemi ve normal dönem) 43

Tablo 4.6: Yangın Dönemindeki Gaz Oranları 44

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
ºC	: Derece, Celcius
C	: Karbon
O_2	: Oksijen
CO	: Karbonmonoksit
CH_4	: Metan
CO_2	: Karbondioksit
Q	: Hava miktarı
V	: Hava hızı
P	: Basınç
R	: Direnç
δ	: Yoğunluk
δH	: Reaksiyon ısısı
dak	: Dakika

Kısaltmalar	Açıklama
ASTM	: Amerika Ölçüm ve Malzeme Birliği
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri
GLİ	: Garp Linyitleri İşetmesi
GR	: Graham oranı
YR	: Young oranı
PTR	: Partington oranı
ppm	: milyonda bir birim

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİR YERALTI KÖMÜR MADENİNDE KÖMÜRÜN KENDİ KENDİNE YANMASINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN ANALİZİ

Öğrenci Gursel AXUNDOV

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN

Kömür madenciliğinde sıklıkla karşılaşmakta olan en önemli sorunlardan biri de kömürün kendi kendine yanmasıdır. Gerek İş sağlığı ve Güvenliği açısından, gerekse de ekonomik kayıpların yaşanmaması için yapılacak olan tedbirlerin zamanında ve doğru uygulanmasında bu konu önem arz etmektedir. Çevresel ve üretimden kaynaklanan kömürün oksitlenerek yanması dünyada ve Türkiye genelinde oluşan kazaların artmasıyla konunun önemi artmıştır.

Oluşan kayıpların önlenebilmesi için mutlaka kömürün kendiliğinden yanmasına neden olan koşulların ve oksidasyon mekanizmasının, kendi kendine yanma parametrelerinin, özellikle hava akış ve basınç kayıplarını nasıl etkilediği araştırılmalıdır. Ayrıca kendi kendine yanmaya etken olan tüm parametreleri kullanarak, bu parametreler arasındaki ilişkinin bilimsel olarak ortaya konması, yanmanın gelişiminin önceden tahminini kolaylaştırmaktadır. Böylece yanmanın olası gelişimine bağlı olarak, alınabilecek tedbirler ön görülebilecektir.

Bu çalışmada Garp Linyitleri İşletmesi, Tunçbilek sahasında bulunan Ömerler yeraltı madeninde önceden yapılan araştırmalarda "yüksek riskli" grupta bulunduğundan, yanmanın oluşabileceği zamana uygun olarak hava ve gaz ölçümleri değerlendirilmiştir. Daha sonra bu

ölçümler uygun bir paket programında tekrar kontrol edilerek yangının önlenmesi açısından önemli olacak parametreler ortaya konulmuştur.

Aralık 2021, 69 sayfa.

Anahtar kelimeler: Kendiliğinden yanma, Kömür oksidasyonu, Havalandırma, Ventsim,

SUMMARY

M.Sc. THESIS

ANALYSİS OF PARAMETERS AFFECTİNG THE SELF-COMBUSTİON OF COAL İN THE UNDERGROUND COAL MİNE

Gursel AXUNDOV

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Mining Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN

One of the most important problems frequently encountered in coal mining is the self-combustion of coal. This issue is important both in terms of occupational health and safety and in the timely and correct implementation of the measures to be taken in order to avoid economic losses. The importance of the subject has increased with the increase in accidents in the world and in Turkey due to the oxidation of combustion of environmental and production-related coal.

In order to prevent the losses, it must be investigated how the conditions that cause the spontaneous combustion of the coal, the oxidation mechanism, the self-combustion parameters, especially the air flow and pressure losses. In addition, scientifically revealing the relationship between these parameters by using all the parameters that are effective in self-combustion facilitates the prediction of the development of combustion. Thus, depending on the possible development of combustion, the measures that can be taken can be foreseen.

In this study, since the Ömerler Underground Mine, located in the Tunçbilek area of the Garp Lignites Enterprise, was in the "high risk" group in the previous studies, air and gas measurements were evaluated in accordance with the time when combustion may occur. Then,

these measurements were checked again in a suitable package program and parameters that would be important in terms of fire prevention were determined.

December 2021, 69 pages.

Keywords: Spontaneous combustion, Coal oxidation, Ventilation, Ventsim

1. GİRİŞ

Kömür çıkarıldığından beri kendi kendine yanma (spontaneous combustion-sponcom) dünyadaki hemen hemen her kömür üretilen alanda meydana gelir, ancak yanma oranı için geliştirilen sınır değerler bir ülkeden diğerine değişmektedir. Yıllar içinde, kendi-kendine yanma hem kömür üreticilerinin hem de kullanıcıların üretim, depolama ve nakliye sırasında karşılaştığı zorluklardan biridir.

Türkiye madenlerinde üretilen özellikle Linyit kömürlerinde kömürün kendi kendine yanmaya yatkınlığı yapılan araştırmalar sonucu belirlenmiştir. Kendiliğinden yanma durumu, esasta, kömürün yapısındaki C atomunun çevresindeki O_2 molekülü ile etkileşimde olmaları neticesinde ortaya çıkan sıcaklığın, farklı unsurlarla meydana verilen sıcaklıktan daha çok olması durumda, kömürün yapısında oluşan ısının artmasının bir sonucu olmuştur. Ayrıca, kömür oksijenle uygun şartlarda tepkimeye girdiğinden, ocakta kömürlerin birikmesi (kömür yataklarında, uzun mesafeli ulaşımda, göçükte) sıklıkla karşılaşılan ve istenmeyen bir olaydır. Kendiliğinden yanma durumu, kömürlerin termik değerinin azalmasına neden olmuş ve bu durumdan dolayı ekonomide birçok kayıp olmuştur. Diğer yandan, şayet kömürün ısısı çok yükselirse alevli yanmalara neden olur ve bu olayda hem stoklarda hem de maden ocağında büyük sorunlara yol açmaktadır.

Bu sebeplerden dolayı, kömürün kendiliğinden yanma durumuna ne kadar yatkın olduğu ve bu yatkınlık durumu hem kömürün yapısından hem de çevrenin koşulları etkilediğini göz ardı etmemek, kömürün yanma olayı oluşmadan daha önce belirlenmesi gerekir ve bu durumla ilgili gereken tedbirlerin alınması son derece önemlidir. Son yıllarda yapılan araştırmalar kömür yanmasının önlenmesi ya da çıkan yangınların söndürülmesinde gelişen jeomalzeme teknolojisine bağlı olarak, uygulanan geomalzemeler dahil olmak üzere yeraltı madenciliğindeki göçük ortamının jeomekanik davranışı, özellikle permabilite değişimi ile hava ve ısı dağılımı arasındaki ilişkiyi belirlemek üzerine kurulmuştur.

Bu tez çalışmasında, yeraltı kömür madeninde kömürün kendiliğinden yanmasına etki eden parametrelerin özellikle havalandırma parametrelerinin analizi incelenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMA MEKANİZMASI

Kendiliğinden yanma (ısınma) (spontaneous combustion) için parçalanmış olan kömürün geniş yüzey alanına ve kömürün içinden düşük bir hızla geçen havaya ihtiyaç olacaktır ki, bu özelliğe uygun olan yerler; ocağın terk edilmiş kısımları, çökme olmuş bölgeler, göçük bölgeleri, parçalanmış topuk köşeleri, tavan ve taban içindeki çatlaklı kömür damarlarıdır.

Isınmanın nedeni adsorptif, absorptif ve kimyasal reaksiyonların ardışık serisidir (Graham, 1914; Banerjee, 1985).

Oksijen moleküllerinin ilk önce kömürün yüzeyine bağlanıp (adsorpsiyon) sonrasında küçük gözeneğe ulaşarak kimyasal tepkime başlandığı görülmektedir. Kömür ile oksijenin aralarında olan bu tepkime veya oksijen arasındaki bu reaksiyon dış kısma sıcaklık veren bir tepkime olayıdır. Üretilen ısı, sıcaklık değişimleri nedeniyle kömür ve çevresi arasındaki enerji transferini belirler. Bu sıcaklık bulunduğu yerden uzaklaştırılmadığı sürece ilerleyen zamanda çoğalmaya ve alevli yangına dönüşmektedir.

Böylelikle ocakta kömürün kendiliğinden yanabilmesi için üç temel şartın olması gerekir:

- Normal sıcaklıkta oksitlenebilen kömür;
- Yeterli oksijen kaynağı;
- Oksitlenme ürünü olan ısının depolanabilme özelliği;

Oksitlenme durumu az ısılarda ortaya çıkan ve yükselen ısıyla sürmektedir. Oksitlenme olayının ilk belirtisi ortamda bulunan oksijen tüketiminin artmasıdır. 40ºC'nin üzerindeki ısıveren tepkimenin ortaya çıkması ve ortamdaki sıcaklıkta bu doğrultuda yükselmektedir (Saraç, 1992). Bu sıcaklık yükselişi ortamdan uzaklaştırılmadığı takdirde sıcaklık hızlıca artmakta 70ºC'den sonraki durumda da ortamda bulunan CO (karbonmonoksit) ve CO_2 (karbondioksit) derişimi yükselmekte, 125ºC'de buharlaşma meydana gelmektedir. Bu ısının yükselmesi kömürlerin yanma ısısına ulaşmasında ise açık alevli yangınlar ortaya çıkmaktadır

(Jones ve Townend, 1949; Kural, 1998; Biçer, 2011). Tablo 1'de kendi kendine yanma olayının ortaya çıkış adımları verilmektedir.

Tablo 2.1: Kendi kendine yanma olayının meydana gelişi (Demirbilek, 1986; Çakır, 2003).

Sıcaklık < 80 ºC	Destekleyen Koşullar	Sıcaklık > 80 ºC	Yangınlar
Duraysız kömür-oksijen karışımlarının oluşumu ve ısı açığa çıkışı	Sıcaklık artışı	Isının ortamdan uzaklaşmaması ve ilave oksijen geliri ile kızışmanın hızlanması	Isı artışı ve tutuşma

Göçük bölgesinde, kömür damarlarında ve diğer oksitlenmeye müsait yerlerde bulunan ve açık alevli yanmaya kadar giden gizli yangın olayı değişik çevre koşulları ve kömür damarlarının özelliklerine bağlı farklı nitelikler gösterebilmektedir. Gizli yangınların yanmaya yatkınlık derecesini açıklayan etkenler Tablo 2'de verilmiştir:

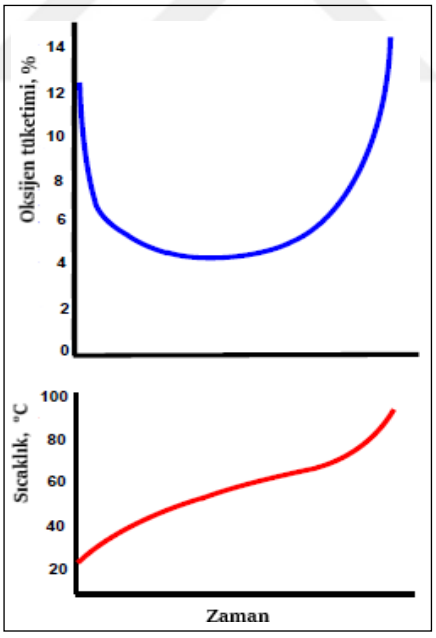
Tablo 2.2: Kendiliğinden Yanmayı Etkileyen Başlıca Faktörler (Feng Vd., 1973).

Kömür Yapısı	Çevre Koşulları	
	Jeolojik Yapı	Madencilik Uygulaması
1. Yüksek nemli 2. Yüksek piritli 3. Düşük ranklı 4. Kırılganlığı yüksek	1. Kömür damarlarında faylanmalar 2. Zayıf ve bozulmuş formasyonlar 3. Düşük kalite kömür damarları 4. Sığ damarlar 5. Birbirine yakın birden fazla damar	1. Göçükte kömür kaybı 2. Gerilme başlaması 3. Sığ damarlarda tasman nedeni ile bağlantı 4. Kalın damarlarda göçertme yöntemi ile üretim, damarda kısmi üretim 5. Havalandırmada anormallikler, dengesizlikler, engeller, yüksek basınç farkı, vb.
Kontrolü olanaksız		Kontrolü olanaklı

2.1.1 KÖMÜR OKSİDASYON MEKANİZMASI

Kömür havanın oksijeni ile reaksiyona girmekte ve böylece, yapısında fiziksel ve kimyasal değişikliklerin yanı sıra her kömürün kendi oksijen absorbsiyon ve adsorbsiyon kapasitesine bağlı olarak farklı ısı miktarı açığa çıkmaktadır. Zamana bağlı tüketilen oksijen miktarı düşük sıcaklıkta bile olsa dört ayrı safhada gerçekleşir (McPherson, 1988):

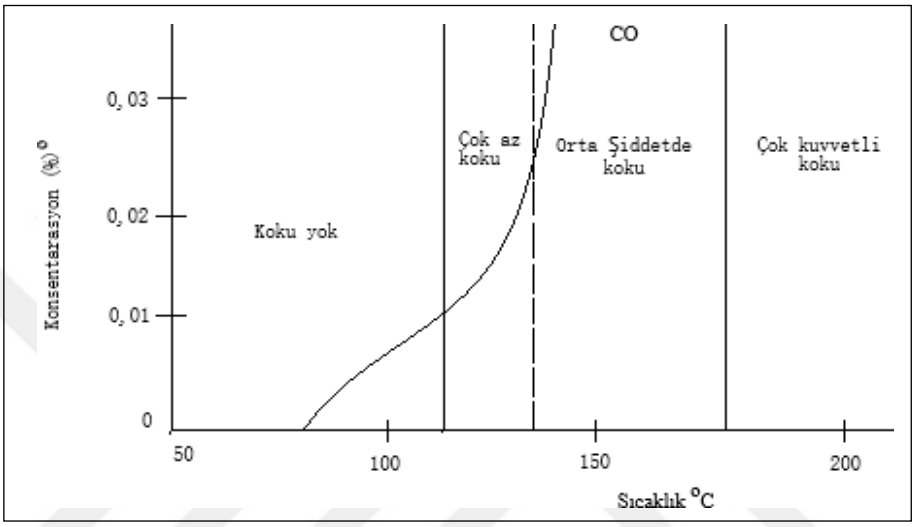
Kömür oksidasyonunun birinci aşaması fiziksel adsorpsiyondan oluşmaktadır. Bu aşamada oksijenin büyük miktarda kömürün yüzey tarafından adsorbe edilmesi ve peroksi komplekslerin oluşumu ile sonuçlanır. Şekil 1'de görüldüğü gibi yüzeyin oksijen birleşikleri ile kaplanması sonucu oksijen tüketimi zamanla azalır. Giderek kendini ısıtma sıcaklığına ulaşıldığında, oksijen tüketimi ve sıcaklık değerinde artım başlamaktadır.



Şekil 2.1: Zamana karşı oksidasyon oranı ve sıcaklık yükselişi (McPherson, 2008).

Dördüncü adımdan birkaç saat sonra yangın başlar. Gizli yangının başlangıç anında duyu organlarıyla saptanmaya güvenmeyeceğimiz bilinmelidir. Sebep bir koku duyulduğu anda yanma merkezinde olan ısının 150ºC'ye yaklaşmış olduğudur. Dolayısıyla da yangına geç kalındığı bilinmektedir (Şekil 2). Yangın oluşumunda kokuyu hiss etmemize neden olan ürün

propilendir (C_3H_6). Bu organik bileşimin oluşumu ise 100ºC'nin üzerinde gerçekleştiği yapılan araştırmalar sonucu belirlenmiştir (Yalçın ve Gürgen, 2006).



Şekil 2.2: Kendiliğinden ısınmadan dolayı kokunun sıcaklıkla değişimi (Yalçın ve Gürgen, 2006).

2.2 KENDİLİĞİNDEN YANMA ile İLGİLİ TEORİLER

Bazı araştırmacılar kömürün fiziksel özelliğinin yanı sıra kimyasal özelliklerini de incelemiş ve kendi kendine yanma olayıyla alakalı farklı teoriler ortaya çıkartmışlardır. Bu teoriler ise: Pirit Teorisi, Bakteri Teorisi, Oksidasyon Teorisi, Nem Teorisi olmak üzere 4 tanedir.

Pirit Teorisi; Kömürlerin yapısındaki piritin oksidasyon durumunda meydana gelen sıcaklığın sonucunda yanma durumunun ortaya çıktığı savunulmaktır. Kömürün içinde piritin çok olması ve ince taneli durumunda bulunmasının dışında kendi kendine yanma olayının etkili olmadığı ifade edilmiştir (Biçer, 2011). Qi (2011) tarafından yapılan çalışmada oksijen ve nem değerleri yüksek alanlarda, ince taneli ve %5 ila %10 pirit oranına sahip kömürlerin kendiliğinden yanmayı daha az sıcaklıkta (50ºC'nin altında) artırmasını göstermiştir. Wang (2003) tarafından yapılan diğer bir çalışmada, piritte bulunan kükürdün oksidasyona uğraması sonucu oluşan sıcaklık kendi kendine yanma reaksiyon serisinin %10 oranına eşit olabileceğini vurgulamışlardır.

Bakteri Teorisi; Kimi araştırmacılar da kendi kendine yanma olayının kömürün yapısındaki bakterinin neden olduğu ifade edilmiştir. Bakterilerle ilgili etkinliklerin sıcaklığa olan katkılara açıkça açıklanmamış olmasına karşın yapılan araştırmalarda bakterilerin çok az ısınmasına sebep olmuştur (Banerjee, 1985)

Oksidasyon Teorisi; Kendi kendine yanma teorilerinin arasında en çok onaylanan teori oksidasyon teorisi olduğu ifade edilmiştir. Bu teoriye bakıldığında oksijen ile karşılaşan kömür oksitlenir ve sıcaklığı artmaktadır. Birden çok araştırmacılar da kömürlerin hava ile temas etmesinden farklı sonuçlara ulaşmışlardır.

Kömür oksidasyonu aşağıda gösterilen dört safhada özetlenmiştir (Banerjee, 1985).

- *Birinci aşama*: Oksijenin kömür ile fiziksel adsopsiyonu -80 ºC'de başlar. Bu aşama tersinirdir, ancak sıcaklığın artmasıyla tersinirlik azalır ve 30 – 50 ºC'nin üzerinde ihmal edilecek seviyeye düşer. Ayrıca malzemenin yüzey enerjisinin yan ürünü olarak ısı ortaya çıkar. Sonuç olarak ilk ısı artışı başlamış olur.
- *İkinci aşama*: Kimyasal Absorbsiyon veya Kemisorbsiyon adlandırılan bu işlem 5ºC'de önemli hale gelir. Hidrokarbonlar ve oksijenin ''Peroksi Kompleksler'' olarak adlandırılan kararsız bileşiklerin yaranmasına neden olur.
- *Üçüncü aşama*: Kömürün kendini ısıtma sıcaklığına yaklaştıkça, oksidasyonun ileri aşamalarında gerekli olan oksijeninin sağlanması için peroksi komplekslerde hızlı bir ayrışma olur. Bu işlem, yaklaşık olarak 50-120 ºC aralığındadır. Tipik olarak 70 ºC'de olur. Sonuç olarak kimyasal reaksyonun gaz ürünleri olarak CO, CO_2 ve H_2O ve doymamış hidrokarbonlar açığa çıkar.
- *Dördüncü aşama*: 150 ºC ve üzeri sıcaklıkta yanma işlemi hızlanır. Gaz halindeki yanma ürünlerinin emisyonlarının artmasıyla kömür, kül haline gelir (McPherson, 2008).

Wade ve Eroğlu'nun (Wade, 1988; Eroğlu ve Gouws, 1993) yaptığı kömür parametrelerinin oksidasyon üzerindeki etkileri araştırılmış ve Tablo 2.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.3: Çeşitli Parametrelerin Kömür Oksidasyon Oranı Üzerine Etkisi (Wade, 1988; Eroğlu ve Gouws, 1993).

Parametre	**Parametre artışının oksidasyon oranına etkisi**
Tane iriliği	Azalır
Sıcaklık	Artar
Nem	Artar
Ön ısıtma	Artar
Oksijen	Artar
Oksijen kısmı basıncı	Artar
Uçucu madde içeriği	Artar
Kömürleşme rankı	Azalır
Karbon içeriği	Azalır
Oksijen içeriği	Artar
İç nem	Artar

Nem Teorisi; Gerçekleştirilen çalışmalarda kömürlerin nem oranlarının artmasıyla, bir sıcaklığın oluşması ve bu durumda oksidasyon reaksiyonunda yükselmeye neden olmuştur (Eroğlu ve Gouws, 1993; Wade, 1988). Diğer taraftan bakıldığında ise nemin varlığının birbirine zıt iki etkisi vardır. Kömürün nemi, ısınmanın ilk başlarında buharlaşmakta ve ısının bir kısmı su buharı ile ortamdan uzaklaşmaktadır. Dolayısıyla kömürün ısı artışı kısmen engellenmektedir. Aynı zamanda havadaki su buharı kömür tarafından adsorbe edilerek oluşan ısı, kömürün ısısının artmasına neden olmaktadır. Bu işlemlerden hangisi daha baskın ise onun etkisi ortaya çıkmaktadır.

Nemli havalarda sıcaklık daha hızlıca yayılıp kendi kendine tutuşmaya daha uygun bir ortam yaratılmaktadır. Kuru iklimlerde ise kömür ocaklarında kendiliğinden yanma olayı daha az görülmektedir.

2.3 KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMASINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kömürlerin kendiliğinden yanabilirliğini ortaya koymak için evrensel olarak kullanılan herhangi bir test veya indeks bulunamamıştır. Değişik kömürlerin kendi kendine yanmasını ortaya koymak için, kömürlerin kimyasal ve petrografik özellikleri, jeolojik özellikleri ve atmosferik koşullarına bakılmaktadır.

2.3.1 Kömürün Fiziksel Kimyasal ve Petrografik Özellikleri

Kömürlerin yapısındaki bakteriler, pirit, nem vs. ve tane boyutu gibi faktörler kendi kendine yanmasında görülmektedir.

Kömürleşme Derecesi (Rank); Küçük dereceli kömür büyük dereceli kömüre göre daha çok nem, oksijen ve uçucu madde taşıdıkları için kendi kendine tutuşmasına daha eğilimlidirler. Diğer yandan, kömürleşme derecesi az olan kömür daha delikli yapıda olduğu için oksijenin kömürün içine sızma olayı daha kolaylaşmıştır. Kömür rankı arttıkça kendiliğinden yanmaya yatkınlığı azalmaktadır. (Gürdal vd, 2015; Qi vd 2011)

Nem (Rutubet) İçeriği; Farklı araştırmacılar nemin yanmaya etkisini hem pozitif hem de negatif değerlendirirken, bazı araştırmacılar için ise yanmanın oluşumu için nem oranında kiritik bir değer oranına sahip olduğu tartışılmaktadır (Xu vd, 2013).

Nemin hidroksil ve hidroperoksi üretimini yaratmakta olduğu yapılmış deneylerde bulunduğu, dolayısıyla sıcaklığın arttığı görülmüştür (Özdeniz, 2003). Wang (2003) tarafından yapılan bir çalışmada ise nem miktarına göre yüzeyin kaplanması durumundan ısı transferi yavaşlamakta ve kömür ile oksijen teması kesilmektedir.

Kömür ilk olarak nemini yitirmesi ve sonra nemlenmesi ise kömürün kendiliğinden yanma oranını arttırmaktadır (Zapletal vd, 2018). Nemin buharlaşması sonucu kömürü terk etmesi

durumunda oksidasyon hızı azalmakta yanmanın oluşumu için geçen zaman uzamaktadır (Qi vd, 2011). Bazen, özellikle düşük sıcaklıkta nemin buharlaşması sonucunda azalan ısı miktarı oksidasyonla kazanılan ısıyı üstelemektedir (Choudry vd., 2016).

Tane Boyutu; Kendi kendine yanma olayının tane boyutu ile doğru orantılı olmaktadır (Yuan ve Smith 2012).

Bazı yapılan çalışmalar sonucu tane boyutunun belli bir noktaya kadar oksidasyonu hızlandırdığı görülmüş, fakat kömürün kritik bir boyuta getirdikten sonra bu etki kaybolduğu görülmüştür. Özdeniz (2003) tarafından yapılan çalışmada bu değer 140 μm'den 5 mm'ye geniş bir aralıkta verilmektedir.

Yine yapılan araştırmada oksijeni yüzeye bağlama oranı daha büyük olan kömür kendi kendine yanma durumuna daha eğilimli olmaları, Graham (1930) tarafından ifade edilmektedir. Feng (1985) oksidasyon süratinin, dış yüzeyinin alanı küp kökü ile paralel olarak arttırmaktadır.

Mineral Madde İçeriği; Mineral madde kömürün yapısında yer alan bünyesinde bulunan cansız olan bileşenlerin tamamı, külden oluşuyorsa kömür tutuştuktan sonra geride kalan cansız maddeler olarak açıklanmaktadır (Çakır, 2003).

Büyük külden oluşan kömür (karbon miktarının azalmasından) kendi kendine yanma olayına daha eğilimli olmaktadır. Fakat külün içerisinde bulunan kireç, soda, demir bileşikleri vb. malzemelerin oksidasyonun hızlanması, alüminyum ve silis gibi malzemelerin ise yavaşlama etkisinin olması görülmektedir (Didari, 1986; Spilia 2012). Mineral içerik bakımında kuvars ve siderit ile birlikte kaolinit bulunduran kömürlerin kül ile karışımı sonucu sıcaklığın saklanılması sonucuna ulaşılmıştır (Beamish ve Arısoy, 2008).

Petrografik Yapı; Kömürlerin petrografik bileşiminin kendi kendine yanma olayı tam olarak ne şekilde etkilenmesi hakkında belirli bir görüşün olmaması da Vitren ve Klaren'in Düren ve Füsen'e kıyaslandığında daha süratli oksitlenmesi, ayrıca Füsen'in diğer kişilere nazaran daha uzun sürede yanmasını belirtilmiştir (Ören, 2006).

Pirit İçeriği; Kömürlerin bünyesindeki özellikle ince taneli pirit, nem içerikli bir yerde havayla buluştuğunda oksitlenme ve meydana gelen sıcaklık oksitlenme durumuna yardımcıdır. Bununla birlikte piritin oksitlenmesinden ötürü büyümekte ve kömürlerin bölünmesine bu durumda yüzey alanlarının yükselmesine sebep olmuştur. Pirit, aşağıdaki gösterilen kimyasal tepkimeye göre oksitlenmiştir (Winmill, 1915):

$$2FeS_2 + 7O_2 + 16H_2O = 2H_2SO_4 + 2FeSO_4 + 316 \text{ kkal}$$

Bu konudaki yayınlar değerlendirildiğinde kömürlerin kendi kendine tutuşması durumunda piritin 2. derecede rol almaktadır. Yukarıdaki ısıveren oksidasyon reaksiyonundan ortaya çıkan sıcaklık kömürlerin oksidasyon süratini da yükseltmektedir.

Bakteriler; Bakteri ile ilgili olan davranışların kendi kendine yanma olayındaki etkisi kesin bir şekilde açıklanmasa da; kuru ot birikimlerinin ve ağaçların kendi kendine tutuşmasının başlıca sebebinin bu davranışlar olduğu görülmektedir. Aynı zamanda Graham (1930) tarafınca yapılan bir araştırmada; 100 derecede ısınmış olan kömürlerle tekrardan kömürlerin üzerinden alınan ısıtılmamış kömür numunesinin aynı oksidasyon eğrisini gösterdiği görülmektedir. 100 derecede yaşamını sürdüren bakterilerin çeşitleri olmadığından dolayı bakterinin kömür oksidasyonuna hiçbir şekilde etkisinin olmayacağı kanıtlanmıştır (Ören, 2006).

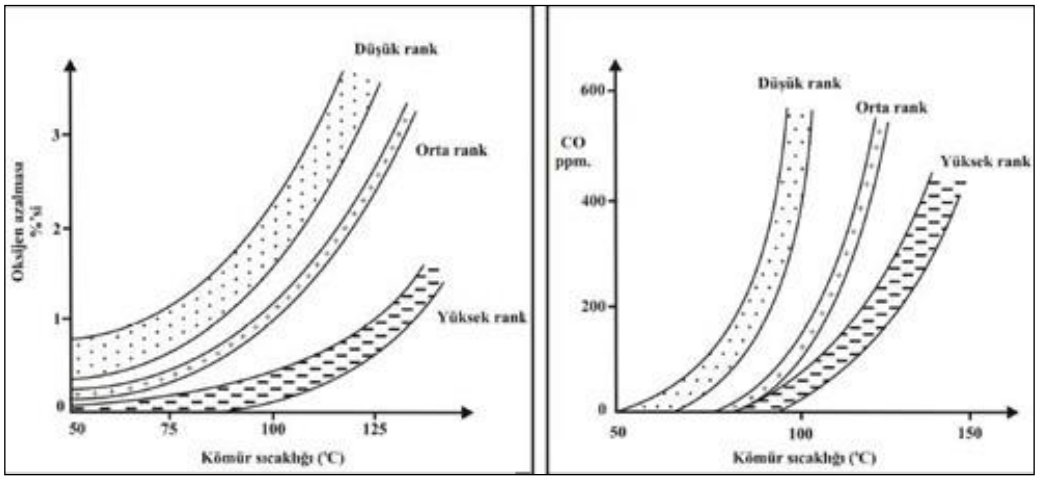
Fiziksel Özellikleri; Kömürlerin fiziksel özelliklerinde, yoğunluk durumu, sertliği, delikli olması, adsorpsiyon gibi özellikleri sayabiliriz. Bu özellikler kömürlerin kendi kendine tutuşma süratini etkilemiştir. Örnek olarak, kömürlerin sert oluşu ufalanma durumunu etkiler ve ufalanma özelliği arttıkça da yüzey alanının da çoğalmasına neden olmaktadır (Şensöğut, 1997).

Uçucu Madde İçeriği; Yapılan araştırmalarda büyük oranda uçucu madde bulunduran kömür, küçük uçuculu olan kömüre göre daha süratli oksitlenmesi ve bu durumda kendi kendine yanma olayına eğilimli olduklarına saptanılmıştır. Bunun nedeni uçucu madde içeriği arttıkça kömürde bulunun fonksiyonel grupların C-H, C=O artmasından kaynaklanmaktadır (Mahidin vd, 2002).

Metan İçeriği; Kömürlerin bünyesindeki deliklerde metan (CH_4) sabit bir ortamı oluşturmakta az dereceli ısılarda ve oksidasyonu yavaşlattığı görülmektedir. Basınç gibi etmenlerin tesiri altında bulunun kömürlerin metan içeriklerinin salınması sonucunda kömürün oksidasyon sıcaklığının yükselmesi sonucunda ise kendiliğinden yanma daha da kızışmaktadır (Xia vd, 2015). Metan içeriğinin yüksek olmasının diğer bir negatif tarafı ise kendiliğinden yanma sıcaklığına ulaşıldığında grizu patlamasına getirip çıkarmaktadır (Zapletal vd, 2018; Li vd, 2018).

Kömür Sıcaklığı; Kömürlerin kendi kendine yanma olayına etki eden en temel unsurlardan birisi de kömürlerin ısısıdır. Oksidasyon derecesi her 10 derecede bir ikiye katlanmaktadır (Ramlu,1991).

Yapılan çalışmalarda oksidasyon işlemlerinin en önemli ısı adı verilen dereceye varana kadar yavaşça gerçekleştiğini, bu dereceden sonra gazdaki değerin yükselme süratini belirlendiği görülmektedir. Bu ciddi ısı oranı tüm kömürlerde değişik bir oranda olmaktadır. Genellikle bu ısının oranı 30 derece ve 70 derece arasında değişmektedir. Şekil 3'de ısının artılı ile birlikte oksijenin azalma ve CO değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Sıcaklık artısına bağlı olarak oksijen azalması ve CO derişimi (Ören, 2006).

Yapılan çalışmalarda oksidasyon işlemlerinin en önemli ısı adı verilen dereceye varana kadar yavaşça gerçekleştiğini, bu dereceden sonra gazdaki değerin yükselme süratini belirlendiği

görülmektedir. Bu ciddi ısı oranı tüm kömürlerde değişik bir oranda olmaktadır. Genellikle bu ısının oranı 30 derece ve 70 derece arasında değişmektedir. Şekil 3'de ısının artılı ile birlikte oksijenin azalma ve CO değişimleri gösterilmiştir.

2.3.2 Jeolojik özellikleri

Damar kalınlığı ve eğimi; Kömürlerin damar kalınlığı fazlalaştıkça ısı iletkenlik durumunda azalmalar görülür ve bu durumda kömürün yapısındaki sıcaklık yığılması kendi kendine yanma durumuna daha çok eğilimlidir.

Damar kalınlığı fazlalaştıkça kendi kendine tutuşma tehlikesi de fazlalaşmaktadır. Özellikle kalın damarlar kazılarında uygulanan blok göçertmeli sistemin ardında göçükte üretilmeyen kırık kömürlerin de kendi kendine yanma olayına yer hazırlamıştır. Yüzeye yakın araştırma ortamlarında da gaz kaçağının denetlenmemesiyle de yine kendi kendine yanma tehlikesi bulunmaktadır.

Damarların eğiminin artmasıyla kömürlerin damarındaki üretme kayıpları artmakta dolayısıyla, kömür birikimi sonucu kendi kendine yanmaya ortam oluşturmaktadır. Bununla birlikte yükselen eğim ile beraber kömürün damarının üzerine binen yükte artış göstermekte, bu durumda kömürlerin parçalanmasına ve kömürlerin yüzeyinde serbest yüzeylerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Yüzey alanının oluşumuyla boşluklara sızan havayla beraber kendi kendine yanma tehlikesinin de arttığı görülmüştür (Ören, 2006).

Faylar ve çatlaklar; Fayların sonucunda meydana gelen çatlaklar hava geçirme durumunu arttıracağı için oksidasyona neden olmaktadır. Fay zonlarında ve topuklarda yer alan gerilmelerin çok olmasından kömürler daha kolayca kırılan, çatlak ve ufalanmış durumundadır. Bu durumda oksidasyon olayını arttırmasından kendi kendine tutuşma daha kolaylıkla gerçekleşmektedir (Saraç, 1992).

Derinlik; Derinlik durumunun artması ile beraber kömürlerin tabakasının üzerine gelen kayaçların basıncı artmaktadır. Artış gösteren bu basınç kömürlerin tabakalarında kırılma ve kömür yüzeyinin genişleyerek kendi kendine yanma olayına sebep olmuştur. Diğer yandan

derinliği büyük olan ocaklarda jeotermik gradyanın artmasından dolayı kömürlerin sıcaklığı ve ortam ısısı daha çok olmaktadır (Saraç, 1992).

2.3.3 Atmosferik Koşullar

Ortam sıcaklığı; Kendi kendine yanma olayında ortam ısısının mühim bir etkiye sahip olduğu kabullenilmektedir. Jeotermal gradyan, başka ortamlardaki yangın vs. kendi kendine yanma olayını etkilediği görülmektedir (Belle ve Biffi, 2018).

Havadaki nem miktarı; Nemi çok olan ocak yerlerinde sıcaklığın fazla olduğu görülmüştür. Bununla birlikte kömür depolarındaki sıcaklığın artmasında yağmurlu havaların ardından çok fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durumun nedeni olarak da havada bulunan rutubetin basınç durumunun fazla olmasıyla kömürler rutubeti alıp ve sıcaklığı ortaya çıkarmaktadır. Özellikle havadaki nemin düşük ranklı kömürler tarafından adsorbe edilmesi sonucunda sıcaklık artışı yapılan araştırmalarda görülmüştür (Choi vd, 2011).

Oksijen derişimi; Çeşitli kömürlerin üstünde 100 derecenin üstünde yapılan deneyler, oksijen konsantrasyonun %1 ve 20 arasında değişiklik gösteren değerlerde oksijen adsorblama becerinin oksijen konsantrasyonun 0,66 kuvvetiyle aynı paralelde olduğu tespit ederken; bu değerin %20'nin üstüne çıkmasıyla oksidasyon sürati düşmektedir (Kröger ve Beıer, 1962; Güney, 1968).

2.4. HAVALANDIRMA PARAMETRELERİNİN KENDİ KENDİNE YANMA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Kömürün kendi kendine yanması ve bununla alakalı problemler uzun zamandan beridir sürmektedir. Yeraltında bu olayla ilgili oluşan yanmalar, çok fazla insanların ve ekonomi anlamda kayıplara yol açan kazanın kaynağı olmaktadır.

Göçük zonunda oksidasyon alanının minimize edilmesi ile ortamdaki havalandırma basınçlarının ve hava akış oranlarının kontrol altında tutularak hava kaçaklarının önlenmesi kendi kendine yanma ile mücadelede en etkin yöntemlerdendir. Bu kapsamda özellikle basınç

ölçümleri gerçekleştirilmelidir. Burada temel amaç kendi kendine yanmaya temel oluşturan, yanma noktasına hava girişlerinin nereden ve ne kadar olduğunun belirlenmesidir.

Havalandırma basıncındaki büyük farklar, heterojen bir yapıya sahip olan kömür damarı içine ve üretimi bitip terk edilmiş alanlara hava kaçaklarını artıracak ve böylece kendiliğinden yanma için çok riskli ortamlar oluşturabilecektir. Bunun yanında havalandırma basıncında düşüş de, reaksiyon sonucu başlayan ısınmanın dağıtılmasına engel olacağından tehlikeli durumlar ile karşılaşılabilir. Ayrıca ocağa giren havanın nemi ve sıcaklığı kömürün oksidasyon oranını etkileyecektir (Humpreys be Richmand, 1983).

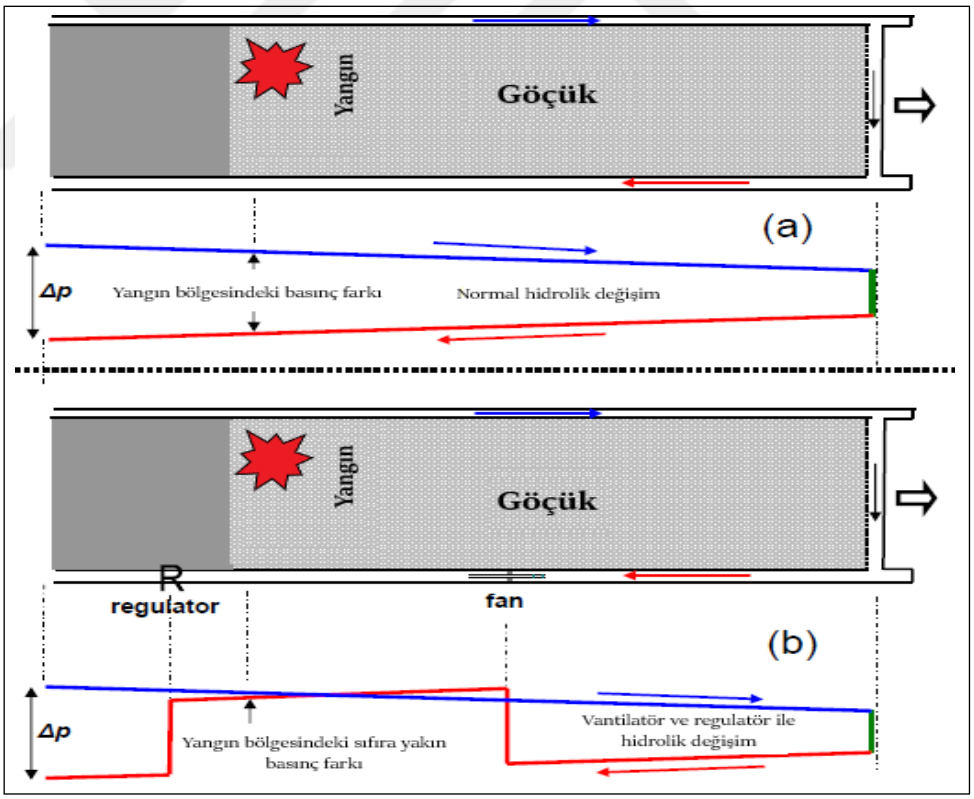
Wade'nin (1988) yaptığı bir çalışmada, hava ilerleme hızının 0,1-0,9 m/dak ve oksijenin %17'den fazla olduğu ocak şartlarında havalandırmanın tehlike oluşturacak en riskli koşul olduğu ileri sürülmüştür. Üfleyici vantilatör sistemi ile çalışılan ocaklar, ayak arkası göçüğe olan hava kaçağının önlenebilmesi açısından, emici havalandırma ile çalışan ocaklardan daha az emniyetlidir. Pratik yönden bakıldığında, kömür ocaklarında emici vantilatör kullanılması eğilimi hava kaçaklarının az olması nedeniyle her zaman tercih edilir (Ayvazoğlu, 1984). Buna karşın yüzeye yakın olan ocaklarda emici sisteminin uygulanması durumunda, yüzeydeki çatlaklardan hava gelmesine sebep olunabilecektir. Bu durumdaki ocaklarda, ocak içi hava basıncını yüksek tutmak, olabilecek hava kaçaklarını en aza indirecektir.

Ocak havalandırmasında amaç, büyük hacimdeki havayı dolaştırabilmek için düşük havalandırma basıncında çalışmaktır. Bu sebeple, hem hava kaçaklarını azaltılacak hem de açığa çıkan ısıyı dışarıya taşımak daha kolay olacaktır. Ocak içinde hareket eden havanın önündeki engeller, tavandan gelen basınç etkisiyle oluşan kesit daralmaları, regülatör ve kapılar, basınç düşüşlerine neden olmakta ve havanın istenmeyen yerlere kaçmasına yol açmaktadır (Ayvazoğlu, 1984).

Yanma bölgesinde basınç dengelenmesi; Basıncı ayarlamak için havanın kaçak akışını sıfırlayana kadar havanın dönüş yolundaki basıncı artırmak veya havanın giriş yolundaki basıncı azaltmakla sağlanması mümkündür (McPherson, 2008).

Aşağıda verilen şekilde (Şekil 2.4) bu tekniğin uygulanışı görülmektedir. Şekilde gizli yangın, ilerletimli uzun ayağın başlama çizgisi boyunca başlamıştır. Giriş ve dönüş yolunda havayolları arasındaki basınç farkı, dönüş havayoluna yerleştirilmiş olan vantilatör ve regülatör ile sıfıra yakın bir değere ulaştırılmıştır. Bu yöntemle göçük veya herhangi bir damar içerisinde yerleşen içsel yanmanın gelişimini durdurma ve artan CO konsantarasyonunu düşürmek için maliyete göre uygun, uygulanması çabuk ve etkili bir yöntemdir (McPherson, 2008).

İki havayolu arasındaki basınç farkı ölçülerek vantilatör ve regülatör açıklığı ayarlanır. Ardından basınç farkı sıfıra yakın bir değere getirilir. Hidrolik değişimler basınç farkını göstermektedir (McPherson, 2008):

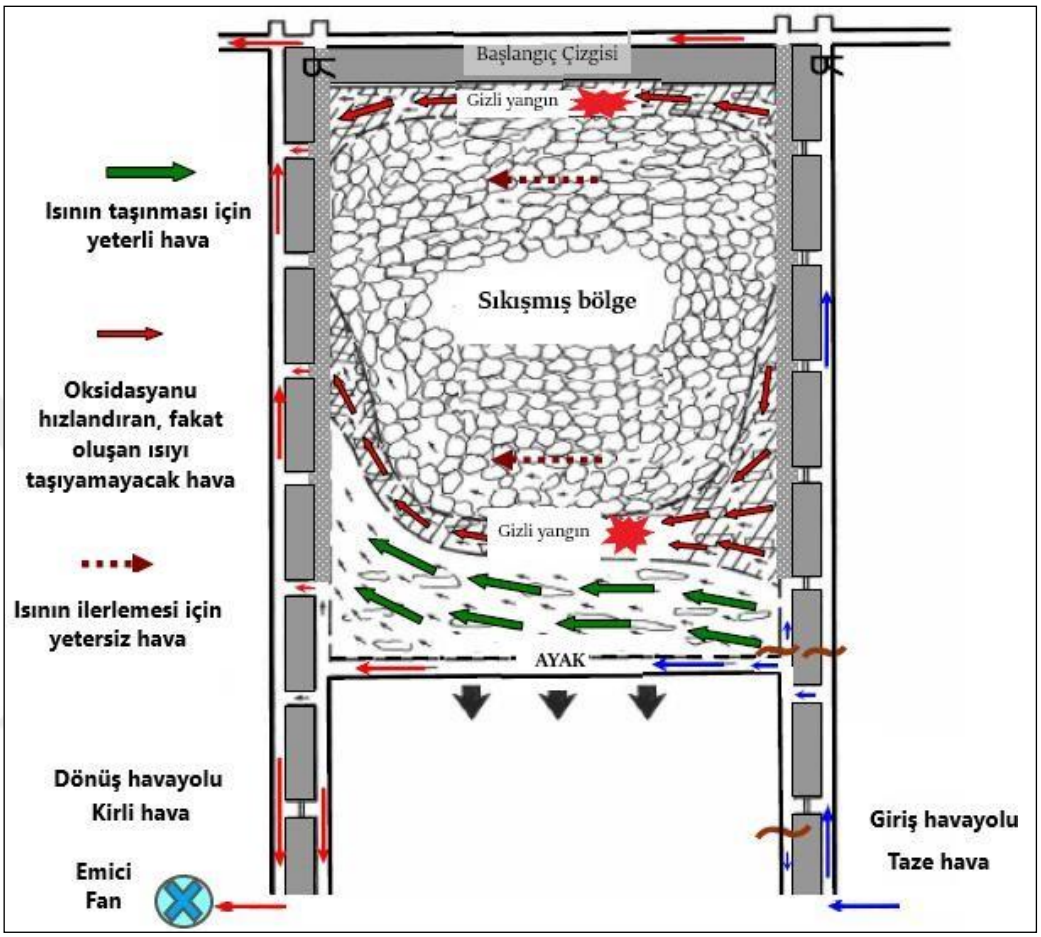


Şekil 2.4: Göçük zonunda gizli yangının basınç dengelenmesi ile kontrolü (McPherson, 2008).

2.5. GÖÇÜK İÇERİSİNDEKİ KENDİ KENDİNE YANMA OLAYI ve TAHMİN MODELLERİ

Yeraltı kömür madenlerinde, topuklarda, terk edilmiş üretim yerlerinde ve göçük içerisinde kalan kömür de kendi kendine yanma çok sık rastlanan bir husustur. Kazı ilerledikçe potansiyel tehlikeler artmaya devam etmektedir.

Terk edilmiş, sığ madenlerdeki kendi kendine yanmaya katkıda bulunan faktörlerden biri oturma-çökmelerdir. Örneğin, topuklardaki çökmeler ya da kısmi çökmeler, göçertmeli yöntemlerdeki tasman sorunu yüzey zeminine kadar ulaşabilen çatlamalara sebep olabilir ve buda havanın bu çatlaklardan çalışma yerine kadar gelmesine sebep olabilir. Madencilik ve jeolojik koşullar, üretim yöntemi gibi ortama bağlı özellikler ise çalışma alanındaki söz konusu bu mekanik büyüklükleri, kırık, çatlak sistemlerini etkilemektedir. Kayaçların jeolojisi, mineralojik, fiziksel ve mekanik özellikleri farklı yük, ısı, nem ve s. koşullar altındaki mekanik davranışını etkileyecektir. Burada esas konu, tüm bu koşullar altında göçük içindeki kömürün veya açık herhangi bir yüzeydeki kömürün hava ve su ile temas ederek okside olması ve ısınmaya başlamasıdır. Yanma bir ekzotermik reaksiyon olduğu için hem ortam ısısının sürekli artmasına hem de reaksiyonların sürekli gelişmesine neden olmaktadır. Bu noktada özellikle yanma ısısı hem hava yolu ile hem de direkt temas ile de taşınabilmektedir. Bu nedenle göçük içerisindeki kömürün kendi kendine yanmasının ve yanmanın ilerlemesinde hava kaçakları kadar çevre kayaçların ısı iletkenlik katsayıları da son derece önemlidir.



Şekil 2.5: Göçükdeki gizli yangın bölgeleri (McPherson, 2008).

Kömür kesildikten sonra, göçük alanının çamur şerbeti ile doldurulması oksidasyon zon alanını azalttığı ve göçük içerisinde kalan kömürün kendi kendine yanma riskini de azalttığı belirlenmiştir (Wessling vd, 2005).

Çevre kayaçların özellikleri, hava akış karakteristiği-maden havalandırma ağının hava akış karakteristiği gibi temel parametreler ve uygun bir önleyici şerbetleme-sıvama-püskürtme gibi yöntemler en uygun matematiksel bir model sayesinde birlikte değerlendirilebilir. Dolgu-şerbetleme-sıvama öncesi ve sonrası elde edilen sonuçlar hava akış hızı esas alınarak karşılaştırılabilir. Göçük alanının şerbet çamuru ile üniform bir şekilde doldurulduğu kabul edildiğinde, oksidasyon zonu çalışma yüzeyinin hemen arkasında sadece küçük bir zonda mevcut olur. Çamur şerbetleme gibi bu tür yöntemler göçükteki kömürün kendi kendine

yanmasını önlemek için kullanışlı ve verimli olduğu yönünde çeşitli araştırmacıların çalışmaları vardır (Wessling vd, 2005).

Bir söndürme senaryosu; hemen hemen geçirimsiz bir malzeme ile yüzeyin sıvanmasından sonra yeraltı kömür yangınlarının gelişimini tahmin edebilir. Sayısal simülasyonlar, kimyasal ve fiziksel proseslerle ilişkili olan kömür yangınları gibi dinamik sistemleri araştırmak için verimli yöntemlerdir. Bu tür modelleme çalışmalarının iyi bir sonuç vermesi için, sınır ve birincil koşullarla uyumlu bir makroskopik denge denklemleri kümesi; sonlu elemanlar ayrıklaştırma yaklaşımı gibi bazı modeller ile nümerik olarak çözülmüş olmalıdır. Uygulamayı kolaylaştırmak için bu denklemler; bir kömür yangını sırasında kömür damarında ve komşu kayaçlarda yer alan fiziksel ve kimyasal proseslere benzetilir.

$$\text{Kömür} + O_2 = \delta H\ (93.7\ \text{kkal mol}^{-1}\ O_2\ ) + \text{Yanıcı ürünler}$$

Kömürün yanmasındaki kimyasal reaksiyon da oksijen en önemli unsurdur. Reaksiyonun çıktısı olarak ise ısı ve yanabilir CO, CH_4 ve H_2 gibi gazlar oluşmaktadır. CO ve CO_2 üreten, kömürün oksidasyonu ve gazlaşma reaksiyonları yüksek sıcaklıkta kömürün yüzeyinde koklaşma oluşturur. Açığa çıkan CO yukarı doğru hareket edecektir ve ortamdaki oksijen ile birleşerek kırık ve çatlakları izleyerek yayılma eğilimi gösterecektir. Bu oksijen ile karışık ve yayılan bu gaz aynı zaman da yanma riski de taşımaktadır. Yüksek sıcaklıktaki kömür su ve CO_2 ile reaksiyona girmekte ve yukarıda bahsedilen yanıcı gazları oluşturan reaksiyonları meydana getirmektedir. Bu nedenle yapılan söndürme faaliyetlerinde, sadece su kullanılması bu reaksiyonları artırmakta ve ciddi patlamalara dahi yol açabilmektedir. Bununla birlikte, ısınan hava çatlak ve süreksizlikler boyunca taşınarak kömüre ulaştığında kendi kendine yanma için başlı başına bir ısı kaynağını oluşturur (Tripathi, 2005).

Ayrıca yerüstünde oluşan çökmeler ve göçertme tekniğinin yarattığı kırık çatlaklar nedeniyle göçük içine hava ve su sirkülasyonu oluşmaktadır. Bu olay hem kömürün kendi kendine yanmasını tetikleyen bir unsurdur hem de yanma başladıktan sonra oluşan reaksiyonlar nedeniyle açığı çıkan ve ısınmış olan CO gibi yanıcı gazların ocağın diğer alanlarına da yayılmasına sebep olmaktadır ki, buda son derece tehlikelidir (Xinhai vd, 2005). Göçük

içerisindeki oksidasyon zonunun minimize edilmesi ile ortamdaki havalandırma basınçlarının ve hava akış oranlarının kontrol altında tutularak hava kaçaklarının önlenmesi kendi kendine yanma ile mücadelede en etkin yöntemdir. Yeraltı kömür yangınlarını anlamaya yönelik simülasyon çalışmaları hala devam etmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir:

Yuan ve Smith (2012) tarafından yapılan bir çalışmada havalandırma ve göçük özelliklerinin sponcom üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma durum simülasyonları, farklı havalandırma koşulları ve göçük geçirgenliği dağılımlarının belirlenmesi işlemlerini kapsamaktadır. Simülasyon sonuçları, tipik üç girişli havalandırma koşulları altında, göçük alanı boyunca basınç farkının arttırılmasının, göçük içindeki maksimum sıcaklık artış oranını arttırdığını göstermektedir. Göçükteki basınç farkının azaltılması, maksimum sıcaklık artışı oranını önemli ölçüde değiştirmemektedir.

Kaya kütlesi geçirgenliğinin modellendiği Long ve Shimin (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, Kaya kütlesi gerilme-deformasyon eğrisinin, içsel sürtünme ve parçacıkların yeniden düzenlenmesinden kaynaklanan boşluğu sıkıştırması nedeniyle daha uzun bir yol kat ettiğini bulmuşlardır. Bununla birlikte, parçacık elastisite modülü, tamamen sıkıştırılmış bir göçük için geçirgenlik dağılımını kontrol eder.

Esterhuizen ve Karacan (2005) tarafından yapılan bir çalışmada, bir uzun ayakta geçirgenlik değişikliklerini hesaplamak için permabilite ve gerilme arasındaki ampirik ilişkiler araştırılmıştır. Bu çalışmada göçük sıkıştırılabilir ve granül bir malzeme olarak modellenmiş ve uzun ayak etrafındaki hesaplanan yatay ve dikey geçirgenliklerin ortalaması alınarak, modelin girdilerinden biri olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak gerçek gaz üretimi ile model çıktıları arasında iyi bir korelasyon elde edilmiştir. Bu model, çalışma sahasındaki gerçek gaz üretimini eşleştirmede başarılı olmuş ve aşırı yükteki akış modellerini değerlendirmek için kullanılabilir.

Esterhuizen ve Karacan (2007) tarafından yapılan başka bir çalışmada, geçirgenliği etkileyen parametreler incelemiş ve boşluk oranı ile geçirgenlik arasındaki ilişki araştırılmıştır. Yazarlar,

göçük geçirgenliğinde hem yatay hem de dikey varyasyonları belirlemek için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 ÇALIŞMA SAHASININ TANITIMI

Ömerler yeraltı maden ocağının ait olduğu ve 1940 yılından 1995 tarihine kadar müessese adı altında faaliyetini sürdüren Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ), bu tarihten itibaren GLİ bölge müdürlüğüne, daha sonra 2004 yılı başından itibaren tekrar müessese müdürlüğüne dönüştürülmüştür.

Garp Linyitleri İşletmesi Tavşanlı-Domaniç karayolu üzerinde olup Tavşanlı ilçesinin kuzeyinde, Tavşanlı'ya 13 km, Kütahya'ya ise 63 km uzaklıktadır. İşletmeyi çevreye bağlayan 2. karayolu ise 65 km'lik Tunçbilek-Domaniç-İnegöl yoludur. Ayrıca Kütahya-Balıkesir demiryoluna Tavşanlı istasyonundan 11 km uzaklıktadır. Şekil 3.1.'de Tunçbilek bölgesinin yer bulduru haritasının Google Earth görünümü verilmiştir.

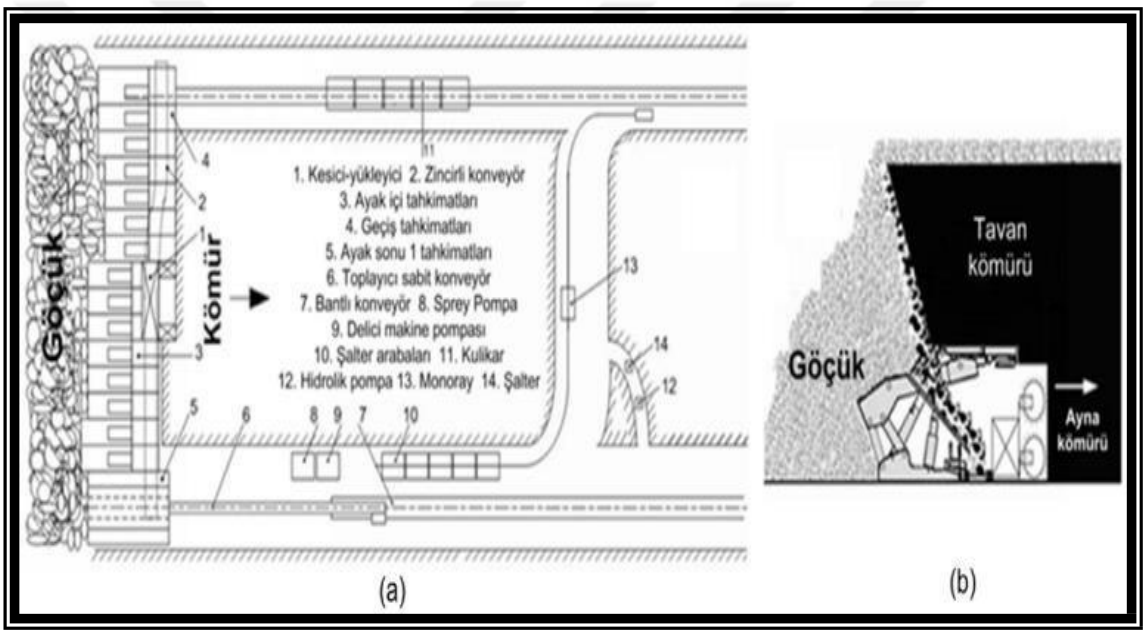


Şekil 3.1: GLİ Tunçbilek yer bulduru haritası.

3.2 ÜRETİM YÖNTEMİ

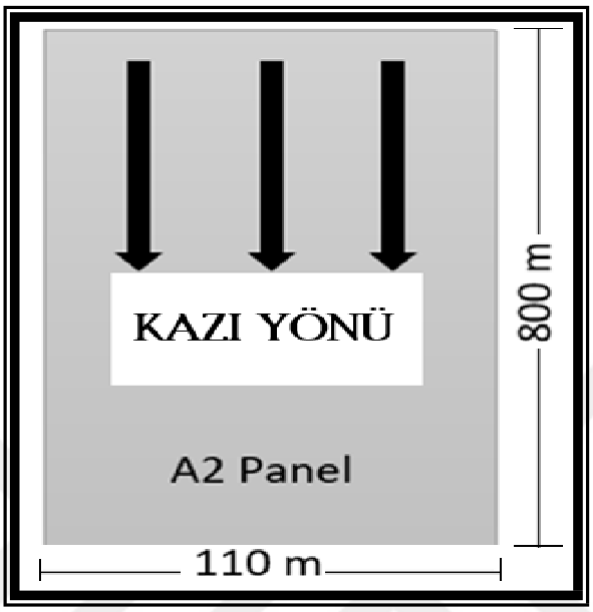
Çalışma sahası olarak belirlenen GLİ Ömerler Yeraltı ocağında bulunan A2 kömür üretim panelinde hidrolik tahkimatların kullanıldığı tavandan göçertmeli mekanize üretim yöntemi ile kömür üretimi yapılmaktadır. Ömerler Ocağı'nda, geri dönümlü blok göçertmeli uzunayak

yöntemi ile kazanılmaktadır. Bu yöntemde kömür damarının taban taşından itibaren 2.8 metrelik kısmı çift tamburlu kesici yükleyici makine ile kazılarak bir kesiminde 60 cm, geriye kalan 5.2 metrelik tavan kömürü ise yürüyen tahkimat ünitelerinin üzerinde bulunan pencerelerden akıtılarak üretilmektedir. Bu yöntem tek taban ayaklı üretim yöntemi olarak da adlandırılmaktadır (Fişne vd, 2016). Şekil 3.5'de uzunayağın plan (a) ve kesit görünüşleri (b) verilmektedir (Özfırat vd, 2008) .



Şekil 3.2: Ömerler ocağı üretim yönteminin uzunayak pano (a) ve kesit (b) görüntüsü

Çalışma sahası olarak belirlenen GLİ Ömerler Yeraltı ocağında bulunan A2 kömür üretim panelinin boyutları Şekil 3.3'de verilmiştir. Ayrıca kaya ve beton standart test yöntemleri kullanılarak belirlenen fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.1'de, kaya kütle permeabilite değerleri ise Tablo 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.3: A2 Pano Boyutları.

Tablo 3.1: A2 Kömür Üretim Paneli ve Çevre Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.

Form.	Yoğunluk. (MN/m^3)	Porozite (%)	Basma Dayanım. (MPa)	Çekme Dayanım. (MPa)	İçsel Sürt. Açısı	Kohez. (MPa)	Elas. Mod. (MPa)	Poison Oranı	Bulk Mod. (MPa)	Kayma Mod. (MPa)	Dila. Açısı
Kalkerli Marn	0,023	13,8	29,2	3,9	47	12,5	5520	0,26	2675	1605	15
Marn	0,022	13,8	16,1	1,9	31	5	2530	0,25	2675	1605	15
Yumuşak Kiltaşı	0,021	21,3	14,4	2,3	32	3,18	1480	0,28	1281	750	10
Tavan Kiltaşı	0,022	10,8	20,72	1,8	41,5	3,49	1942,9	0,25	497	298	10
Taban Kiltaşı	0,022	21,3	43	3,12	42,9	4,15	5250	0,23	1543	884	10
Kömür	0,014	9,72	16,33	1,64	32,9	3,39	1870	0,36	1271	762	10

Tablo 3.2: A2 Kömür Üretim Paneli ve Çevre Kayaçların Permeabilite Değerleri.

Form.	Hidrolik İletkenlik (Yatay) (cm/s)	Hidrolik İletkenlik (Düşey) (cm/s)
Kalkerli Marn	1,93 E-06	1,93 E-06
Marn	9,66 E-07	9,66 E-08
Tavan Kiltaşı	9,25926 E-09	9,25926 E-09
Yumuşak Kiltaşı	9,25926 E-09	9,25926 E-09
Taban Kiltaşı	9,25926 E-09	9,25926 E-09
Kömür	1,71296 E-07	1,71296 E-08

3.3 KÖMÜRÜN GAZ İÇERİĞİ.

Kimyasal Analiz Sonuçları: Ömerler Yeraltı Ocağı A1 ve A2 panolarına ait kömür damarlarının gaz içeriği analizlerin sonuçları orijinal bazlı ve kuru – külsüz bazlı olmak üzere A1 ve A2 panoları için Tablo 3.3' de verilmiştir (Fişne vd, 2016).

A1 panosundan alınan numunelerin orijinal bazdaki nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon içerikleri sırasıyla % 9,26 – 10,75, % 20,46 – 31,07, % 22,28 – 34,44 ve % 34,40 – 37,17 arasında değişmektedir. Ortalama değerler nem için % 10,02, kül için % 25,04, uçucu madde için % 29,04 ve sabit karbon için % 35,71'dir. A2 panosundan alınan numunelerin orijinal bazdaki nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon içerikleri sırasıyla % 8,15 – 12,33, % 5,75 – 42,62, % 26,50 – 35,94 ve % 22,33 – 46,65 arasında değişmektedir. Ortalama değerler nem için % 10,40, kül için % 22,69, uçucu madde için % 30,66 ve sabit karbon için % 36,25'dir (Fişne vd, 2016).

Kömürlerin sınıflandırılmasında ASTM, DIN vb. gibi farklı standartlar kullanılmaktadır. Fişne (2016) tarafından yapılan çalışmada kömür numuneleri ASTM standardı kullanılarak, kısa analiz sonuçlarının kuru-külsüz bazdaki değerleri yardımıyla sınıflandırılmıştır. Alınan örneklerin kuru-külsüz bazlı uçucu madde içerikleri A1 Panosu için % 37,48 – 48,99 ve A2 Panosu için % 43,51– 54,65 arasında değişmektedir. Ortalama değerler ise sırasıyla % 44,78 ve % 46,38'dir. Örnekler ortalama kuru-külsüz bazlı uçucu madde içerikleri göre linyit sınıfına girmektedirler. Ancak bazı örneklerde izlenen yüksek nem ve kül içerikleri sınıflandırmada kullanılan uçucu madde içeriklerini yükseltmekte ve kömürleri turba sınıfına kadar indirmektedir (Fişne vd, 2016).

Tablo 3.3: Kömürün Kimyasal Analiz Sonuçları (Fişne vd, 2016).

Bölge	Orijinal (%)				Kuru – külsüz (%)	
	Nem	Kül	Uçucu Madde	Sabit Karbon	Uçucu Madde	Sabit Karbon
A1 Panel	10,75	25,18	29,67	34,40	46,30	53,70
	9,48	31,07	22,28	37,17	37,48	62,52
	10,60	23,43	30,56	35,40	46,33	53,67
	9,26	20,46	34,44	35,85	48,99	51,01
A2 Panel	8,15	42,62	26,90	22,33	54,65	45,35
	11,66	5,75	35,94	46,65	43,51	56,49
	3,99	32,49	26,93	31,60	46,01	53,99
	9,28	32,47	26,50	31,74	45,51	54,49
	12,33	8,60	34,46	44,61	43,58	56,42
	11,96	14,22	33,23	40,59	45,02	54,98

Fişne (2016), kömür örneklerinin gaz içeriklerini "ASTM D7569-10 "Standard Practice for Determination of Gas Content of Coal-Direct Desorption Method" standardına göre belirlemiştir. Elde edilen sonuçlar orijinal bazlı ve kuru – külsüz bazlı olmak üzere A1 ve A2 Panoları için Tablo 3.4' de özet olarak verilmiştir (Fişne vd, 2016).

Tablo 3.4: A1 ve A2 Panolarından Alınan Kömürün Gaz İçeriği Sonuçları (Fişne vd, 2016).

Bölge	Orjinal (m^3/ton)		Kuru – külsüz (m^3/ton)	
	Artık	Toplam	Artık	Toplam
A1 Panel	0,24	0,24	0,37	0,37
	0,22	0,22	0,37	0,37
	0,26	0,26	0,39	0,39
	0,19	0,19	0,27	0,27
A2 Panel	0,15	015	0,30	0,30
	0,15	0,15	0,18	0,18
	0,15	0,15	0,26	0,26
	0,21	0,21	0,36	0,36
	0,22	0,22	0,28	0,28
	0,22	0,22	0,30	0,30

Tablo 3.4'den de görüleceği gibi A1 Panosu için numunelerin orijinal bazdaki artık gaz miktarı 0,19 – 0,26 m^3/t arasında değişmektedir. Ortalama gaz içeriği ise 0,23 m^3/t olarak belirlenmiştir. Kuru – külsüz bazda ise söz konusu değerler 0,27 – 0,39 m^3/t ve 0,35 m^3/t olarak elde edilmiştir (Fişne vd, 2016).

A2 Panosu için numunelerin orijinal bazdaki artık gaz miktarı 0,15 – 0,22 m^3/t arasında değişmektedir. Ortalama gaz içeriği ise 0,18 m^3/t olarak belirlenmiştir. Kuru – külsüz bazda ise söz konusu değerler 0,18–0,36 m^3/t ve 0,28 m^3/t olarak elde edilmiştir. Kömür damarları içerdikleri gazın miktarına ve derinliklerine bağlı olarak Tablo 3.5'de görüldüğü gibi az gazlı, orta gazlı ve çok gazlı olmak üzere üç kategoride sınıflandırılmaktadır (Thakur, 2011).

Tablo 3.5: Kömür Damarlarının Gazlılık Durumuna Göre Sınıflandırılması (Thakur, 2011).

Kategori	Derinlik (m)	Gaz İçeriği (m^3/ton)
Az Gazlı	≤200	<3
Orta Gazlı	200-500	3-10
Çok Gazlı	>500	10-25

A1 ve A2 Panolarında belirlenen gaz içeriği değerleri ve panoların derinlikleri dikkate alındığında Tablo 3.5'deki sınıflandırmaya göre az gazlı olduğu görülmektedir. Ayrıca iki panoya ait numunelerin gaz içeriğinin % 100'ü artık gaz bileşeninden oluşmaktadır. Fişne (2016) tarafından desorpsiyon ölçümleri sırasında yapılan araştırmada gaz yayılımı tespit edilememiştir. Kısacası, A1 ve A2 Panoları kömür damarlarının gaz içeriğinin tamamı -200 mesh boyutunun altına öğütülmesi durumunda serbest hale geçebilecek gazdan oluşmaktadır. Kömürleşme olayının ilk aşamalarında kömür katmanları üzerinde çok ince ve geçirimli bir örtü tabakası bulunmaktadır. Dolayısıyla bu aşamada meydana gelen gazların büyük kısmı ortamı terk etmiştir. Linyit gibi kömürleşme derecesi düşük kömürlerin daha az gazlı olmasının nedeni de budur. Yüksek dereceli kömürler daha derinlerde bulunduğundan ve üzerleri daha kompakt kayaçlarla çevrili olduğundan, meydana gelen gazların büyük kısmı kömürün bünyesinde tutulmaktadır (Fişne vd, 2016).

Fişne (2016) tarafından yapılan çalışmada A1 ve A2 Panoları kömürün ortalama gaz içeriği orijinal bazlı olarak sırasıyla 0,23 m^3/t, ve 0,18 m^3/t olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, kömürün toplam gaz içeriğinin tamamı artık gaz bileşeninden oluşmakta, gaz bileşimi analizlerinde metan gazına rastlanmamış olup, kömürün bünyesindeki gazın büyük bir kısmı karbondioksit ve inert gazlar, küçük bir kısmı ise oksidasyon sonucu oluştuğu düşünülen karbonmonoksit ve hidrojen sülfürdür (Fişne vd, 2016)

3.4 ÇALIŞMA SAHASINDAKI KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMA ÖZELLİKLERİ

TKİ, Garp Linyitleri İşletmelerine bağlı Tunçbilek yer altı ocaklarının panolarında tavan ve taban galerilerinin açılması esnasında meydana gelen kendiliğinden yanma olayı neticesinde, yanmanın meydana geldiği galeriler barajlanarak yangının sönmesi beklenmektedir. Düzenli aralıklarla yapılan ölçümlerde, yangının sönmesi ile ilgili izler saptandıktan sonra barajlar açılarak tavan-taban yollarının açımına devam edilmektedir. Ancak çoğu zaman yanma olayı yeniden başlamakta ve hazırlık yollarının açılmasında ve üretimde büyük aksamalara neden olmaktadır (Köse vd, 2012).

Tunçbilek kömürlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının belirlenmesi için değişik araştırmacılar tarafından çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir. Saraç ve Soytürk (1992) tarafından yapılan araştırmada Ömerler taban kömürünün kızışmaya yatkınlık bakımından "Orta", Ömerler tavan kömürü ile Tunçbilek tavan kömürlerinin ise "Yüksek" risk grubuna girdiği ortaya konulmuştur. Karpuz vd., (2000) tarafından yapılan TKİ Genel Müdürlüğüne bağlı yeraltı ocaklarının kendiliğinden yanma risk sınıflamasına göre GLİ ocaklarının "Yüksek riskli" sınıfına girdiği belirtilmektedir. Ören ve Şensöğüt (2007) tarafından kesişim noktası yöntemi kullanılarak yapılan bir çalışmaya göre ise, Garp Linyitleri İşletmesi için tutuşma sıcaklıkları 141 – 162 ºC olarak tespit edilmiştir. 10.25 – 17.34 dak^{-1} indeks değerleriyle yatkınlık açısından "yüksek riskli" kömürler arasında olduğu belirtilmektedir. Örnek olması açısından işletmede yaşanılan bir kendiliğinden yanma olayında yapılan gaz ölçüm değerleri ve alınan önlemler aşağıda verilmiştir.

Ömerler Yeraltı ocağında çalışma alanı olan A Panosu A2 Ayak Kömür yolunda 16.07.2018 tarihinde vardiya 1'de (65. tahkimat üstünde ve arkasında) yapılan gaz ölçümünde 2000 ppm konsantrasyonunda CO gazı ve ayak içerisinde yoğun duman yayıldığı tespit edilmiştir. Gelişmeler üzerine, yangınlı bölgeye çeşitli noktalardan açılan delikler yardımıyla soğutma amacıyla basınçlı su verilmiştir. Vardiya 2'de bu uygulamanın yetersiz olduğu anlaşılınca yangınlı bölümdeki galerinin üst kısmı boşaltılmış ve tahkimat arkasında açık alev ile

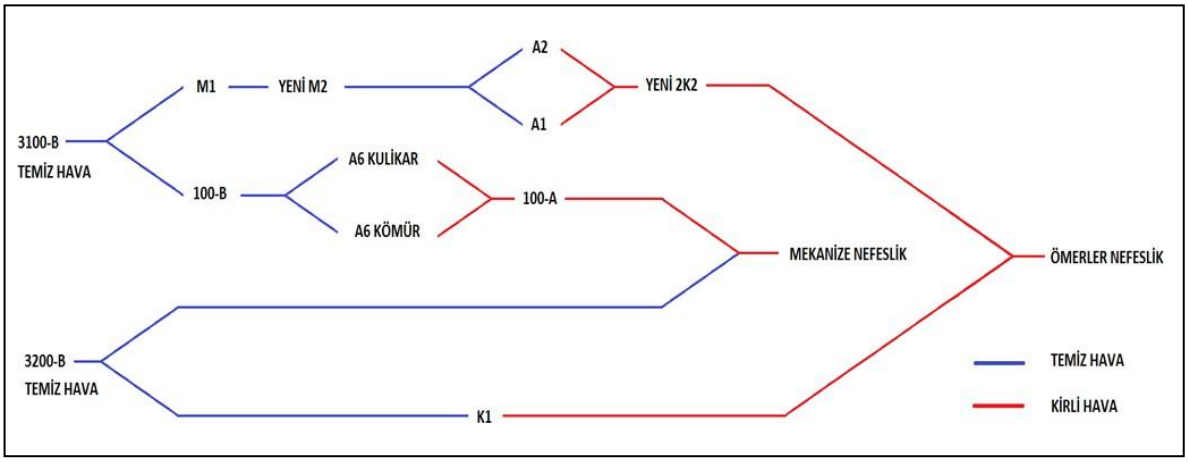
karşılaşılmıştır. Sonuç olarak pano için aşağıdaki önlemlerin alınmasına karar verilmiş ve uygulanmıştır.

- Yangınlı bölgeye gelen hava akımını kesmek ve bölgenin izole edilmesi için A2 kömür yolu girişine yangın barajı yapılması,
- Ayakta tahkimat arkasına ve üzerine köpük sıkılarak, Azot ve solüsyon basılması;
- Yerüstü erken uyarı sistemi yardımıyla ve lokal gaz ölçümleriyle yangının seyri takip edilmesi.

Yangın barajı yapıldıktan sonra, 25.07.2018 Vardiya 2'de tahkimat arasından yapılan ölçümlerde hiçbir yanıcı, patlayıcı, boğucu ve zehirli gaza rastlanmadığı rapor edilmiştir (25.07.2018 tarihli tutanak).

3.5 HAVALANDIRMA YÖNTEMİ

Ömerler Yeraltı Ocağında yerüstüyle yeraltının irtibatı 4 ayrı noktadan sağlanmaktadır. Bunlardan ikisi temiz havanın girişi için desandre şeklinde, diğer ikisi de nefeslik olarak kirli hava çıkışı için başyukarı şeklinde sürülmüştür. Bağlantı noktalarının dördünden de personel giriş ve çıkışı yapılabilmektedir. Ömerler Yer altına ait "Hava Akım Şeması" Şekil 3.4'de verilmiştir (GLİ Tunçbilek Ömerler, 2019).



Şekil 3.4: Ömerler Yer altına ait Hava Akım Şeması (GLİ Tunçbilek Ömerler, 2019).

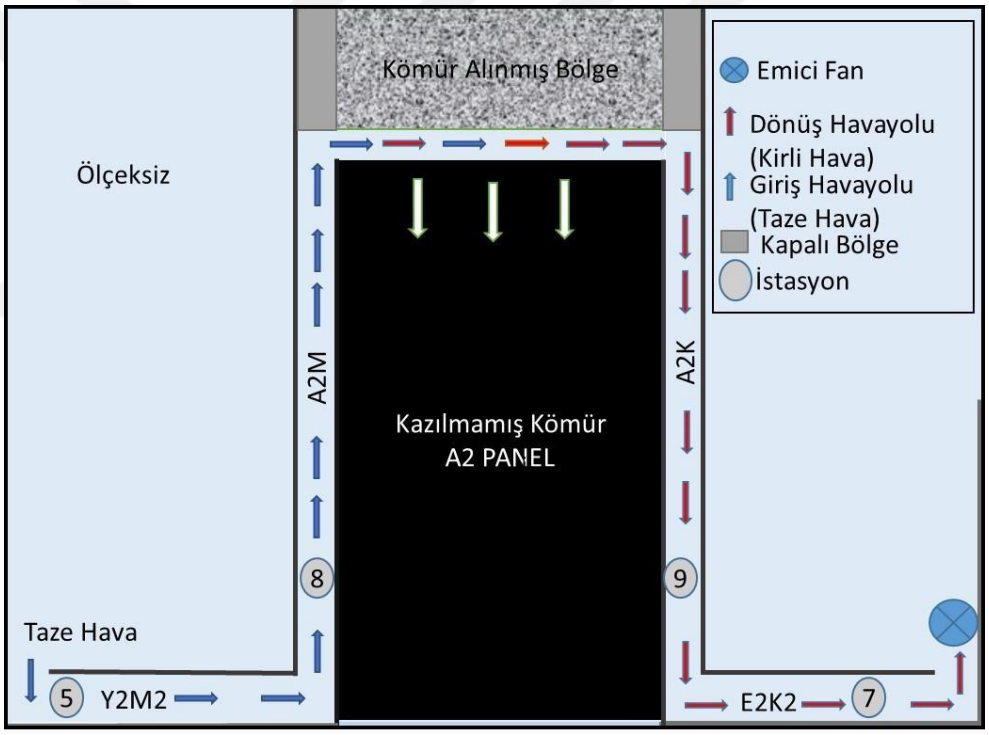
Ocağın havalandırması, birbirine bağlı iki ayrı devre halinde emici olarak yapılmaktadır. İki ayrı galeriden giren temiz hava, ocak içerisinde kullanıldıktan sonra, nefesliklerden cebri olarak dışarıya taşınmaktadır.

Mekanize Nefeslik Galerisinde (biri aktif – biri yedek) 2 adet vantilatör; Ömerler Nefeslik Galerisinde de yine (biri aktif – biri yedek) 2 adet vantilatör olmak üzere toplam 4 adet ana vantilatör tesis edilmiştir. Toplam motor gücü 510 kW olan bu 4 vantilatörden her biri 2040-3000 m^3/dak kapasiteye sahiptir. Panoların hazırlık aşamasında ise bacalarda ilerlemeyle beraber tali havalandırma sistemi kullanılmaktadır. Mekanize panonun hazırlığında 14, 16 m^2 kesitli galeride 60 cm çaplı fantüpler kullanılmaktadır.

4. BULGULAR

4.1 HAVALANDIRMA OPTİMİZASYONU

Havalandırma sistemi, maden gazı bulunan madenler için standartlara uygun olarak tasarlanmıştır. Madenin havalandırılması, birbirine bağlı iki ayrı devrede emici olarak gerçekleştirilir. Şekil 4.1'de gösterildiği gibi, Y2M2 ve A2M galerileri giriş havayolu, A2K ve E2K2 galerileri ise dönüş havayoludur.



Şekil 4.1: A2 Paneline ait Havalandırma Sistemi.

A2M ve A2K galerileri için kesit alanına göre hesaplanan hava miktarları Tablo 4.1'de, özellikleri ise Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Gerekli Hava Miktarları.

Galeri	Kesit Alanı (m^2)	Minimum Hava Hızı (m/s)	Gerekli Hava Miktarı (m^3/dak)
A2M	16	0.5	480
A2K	11	0.5	330

Tablo 4.1'den de görüldüğü gibi A2 panosunun yanındaki A2 malzeme ve A2 Kömür galerilerinde minumum hava hızına göre hesaplanan gerekli hava miktarı sırasıyla 480 m^3/dak ve 330 m^3 /dak'dır. Bu hava miktarı değerleri Tablo 4.2' deki ölçümlerde görüldüğü gibi 750 m^3/dak değeri ile sağlanmıştır.

Bu hesaplama yapılırken eşitlik (4.1) kullanılmıştır.

$$Q= V \times A \tag{4.1}$$

Burada;

V: Hava hızı (m/s),

A:Kesit alanı(m^2).

Hava yollarının dirençleri belirlenirken galerilerde ölçülen basınç farkları kullanılmıştır. Buna göre eşitlik 4.2 kullanılarak dirençler belirlenmiş ve Tablo 4.2' de verilmiştir.

$$P: R \times \delta \times Q^2 \tag{4.2}$$

Burada;

P: Havayolunda meydana gelen basınç kaybı (Pa),

R: Havayolu direnci (m^{-4}),

Q: Hava Miktarı (m^3/s),

δ: Ortalama Hava Yoğunluğu (1,2 kg/m^3).

Tablo 4.2: Galeri Özellikleri.

Galeri	İstasyon Numarası	Hava Hızı (m/s)	Hava Miktarı (m^3/min)	İşçi Sayısı	Basınç Farkı (Pa)	Galeri Direnci (Ns^2/m^{-8})	Kesit Alanı (m^2)	Uzunluk (m)
Y2M2	5	0,8	750	85	5,9	0,03817	16	349
A2M	8	0,8	750	25	7,5	0,04799	16	910
Uzun ayak	-	1	750	2	58,1	0,37243	12	110
A2K	9	1,1	750	7	10,1	0,06505	11,2	800
E2K2	7	0,8	750	2	8,0	0,05130	16	398

Örneğin A2K galerisinin ölçülen basınç farkı değeri 10 Pa'dır. Ayrıca bu galeriden geçen hava miktarı 750 m^3/dak (12,5 m^3/s) olarak belirlenmiştir. Ortalama hava yoğunluğunu 1 kg/m^3 olarak kabul edersek. Bu değerleri eşitlik 4.2'de yerlerine koyduğumuzda hava direnci 0,06505 m^{-4} olarak hesaplanır.

$R= P / (\delta x Q^2)$

$R=10,1 / (1x12,5^2)$

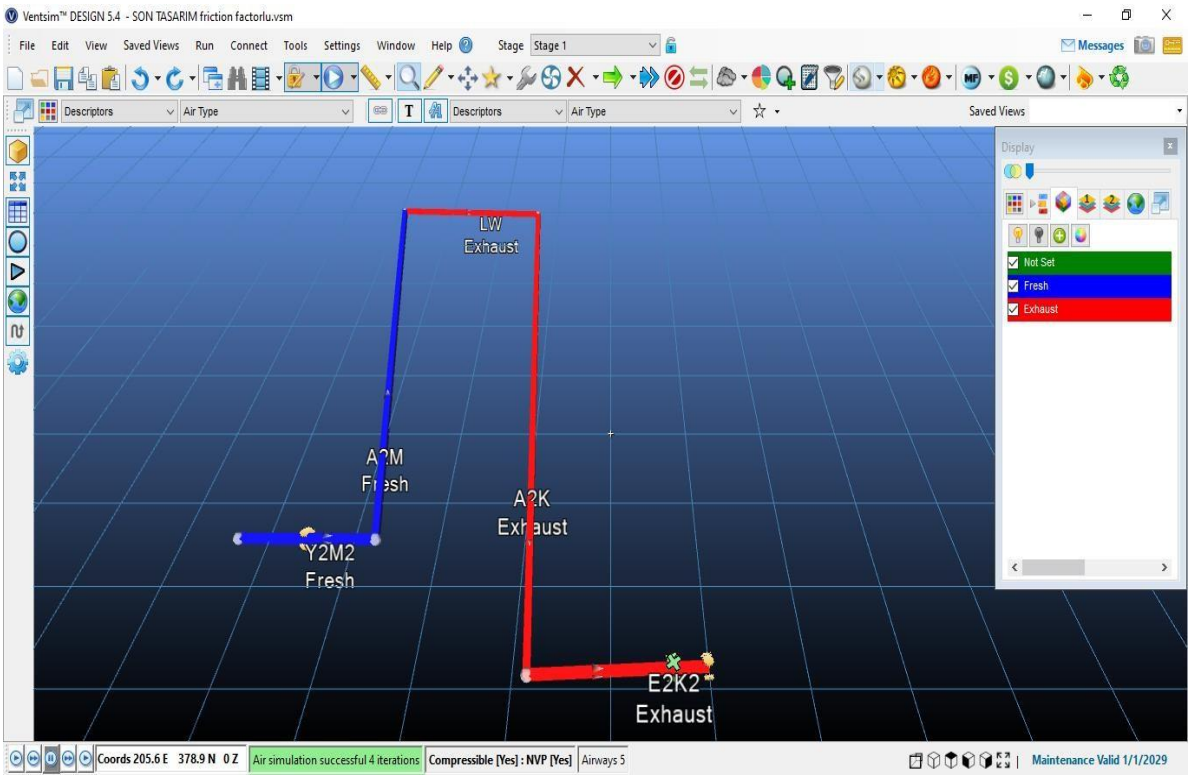
$R=0,06505\ m^{-4}$

Tablo 4.2'de verilen değerler söz konusu ocakta yapılan ölçümler (basınç ve hız ölçümleri) sonucu hesaplanan değerlerdir. Ancak bu değerler kazının ilerleyen adımlarında değişiklik gösterecektir. Bu değerlerin belirlenmesi amacıyla Ventsim paket programı kullanılarak bir havalandırma simülasyonu yapılmış ve farklı kazı adımlarındaki havalandırma değerleri ortaya konulmuştur. Ayrıca ilk durumdaki ölçülen değerler Ventsim paket programındaki değerlerle kontrol edilerek modelin doğruluğu test edilmiştir.

Ventsim, bağımsız bir platform olarak havalandırma analizi yapan bir yazılımdır. Sistem çok iyi uyumluluğa sahiptir ve diğer maden tasarım yazılımlarından veya havalandırma yazılımlarından gelen temel verileri sisteme işleyerek 3 boyutlu model üretilebilir. Bu yazılım

kullanılarak karmaşık maden havalandırma analizleri kullanıcılar tarafından doğrudan 3 boyutlu olarak gösterilebilir (Zhang ve Suo, 2016).

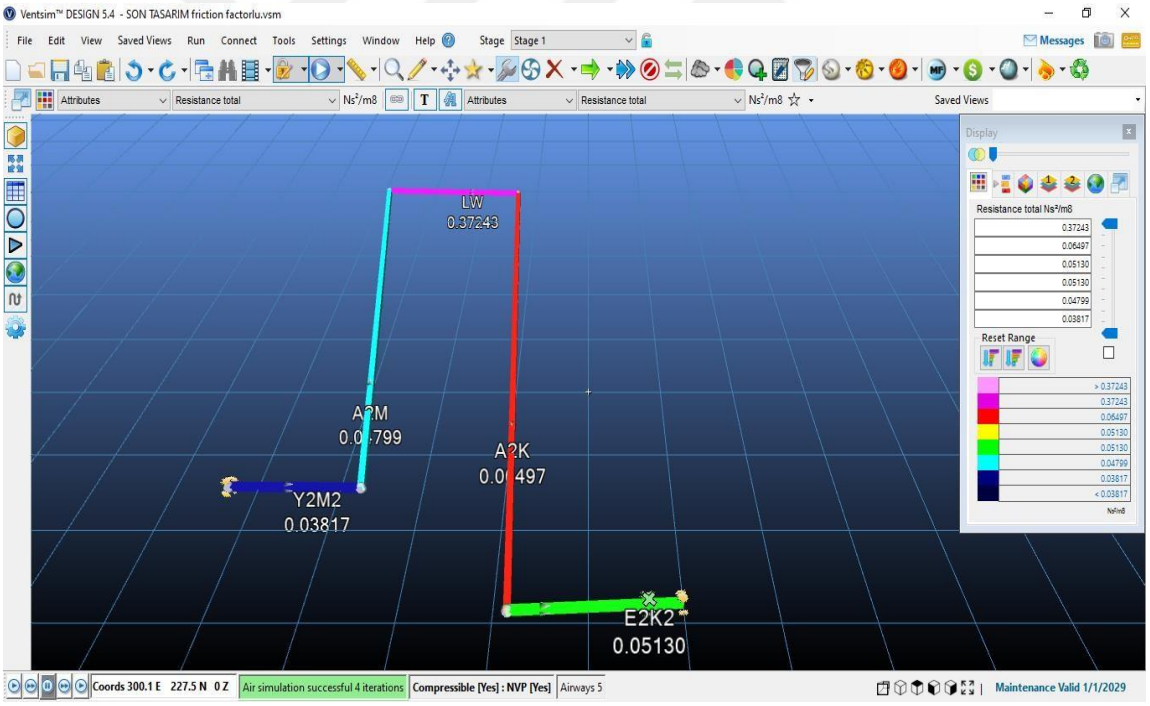
Bu kapsamda, öncelikle Tablo 4.2'de verilen değerlere göre Ventsim'de model oluşturulmuş ve bu değerlerle karşılaştırılmıştır. Oluşturulan model Şekil 4.2'de verilmektedir. Bu modele göre hesaplanan ve Ventsim'de bulunan değerler Tablo 4.3'de verilmektedir.



Şekil 4.2: Ventsim Paket Programında Oluşturulan Model.

Tablo 4.3: Simülasyon Programı ve Ölçüm Sonuçları ile Hesaplanan Değerler.

Galeri	Ölçüm sonuçları ile hesaplanan			Ventsimde bulunan		
	Hava Miktarı (m^3/min)	Basınç Farkı (Pa)	Galeri Direnci (Ns^2/m^{-8})	Hava Miktarı (m^3/min)	Basınç Farkı (Pa)	Galeri Direnci (Ns^2/m^{-8})
Y2M2	750	5,9	0,03817	750	6	0,03817
A2M	750	7,5	0,04799	750	7,4	0,04799
Uzunayak	750	58,1	0,37243	750	58,1	0,37243
A2K	750	10,1	0,06505	750	10,1	0,06497
E2K2	750	8,0	0,05130	750	8,0	0,05130



Şekil 4.3: Ventsim Paket Programında Galeri Direnç Hesaplaması.

Tablo 4.3'den ve Şekil 4.3'den de görüldüğü gibi ventsimle bulunan değerler gerçek sonuçlara oldukça yakın olmaktadır. Daha sonra farklı kazı adımlarındaki değerleri görmek için 100,250,400,550 ve 700. m kazı adımlarındaki durumlar ventsim programı ile simule edilmiş ve sonuçlar Tablo 4.4'de verilmiştir. Kazı ilerlerken Y2M2, Uzunayak ve E2K2 galerilerinin uzunlukları değişmediğinden simülasyon sonuçları değişmemiştir.

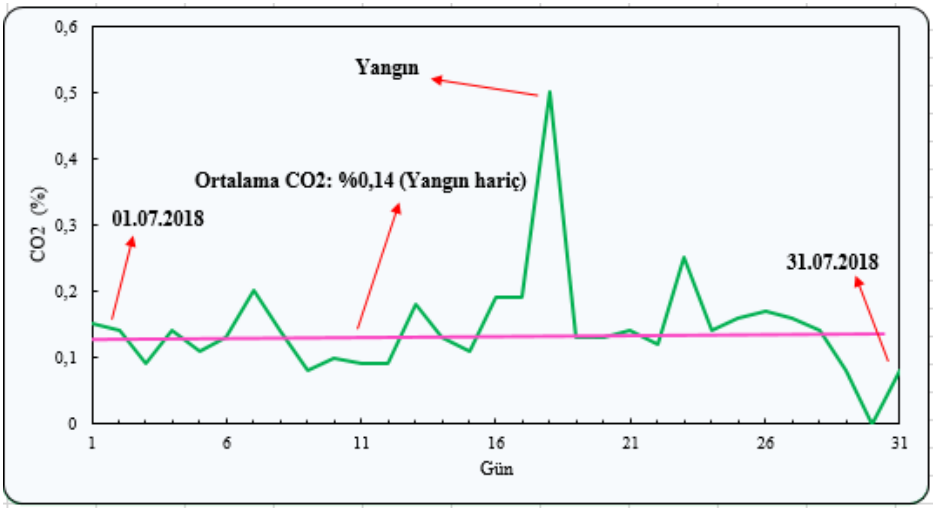
Tablo 4.4: Farklı Kazı Adımlarındaki Havalandırma Değerleri.

Galeri	100. m		250. m		400. m		550. m		700. m	
	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R
Y2M2	6	0,03817	6	0,03817	6	0,03817	6	0,03817	6	0,03817
A2M	6,7	0,04271	5,4	0,03480	4,2	0,02689	3	0,01898	1,7	0,01107
Uzun ayak	58,1	0,37243	58,1	0,37243	58,1	0,37243	58,1	0,37243	58,1	0,37243
A2K	8,9	0,05692	7	0,04472	5,1	0,03253	3,2	0,02033	1,3	0,00813
E2K2	8,0	0,05130	8,0	0,05130	8,0	0,05130	8,0	0,05130	8,0	0,05130

P: Basınç farkı (Pa); R: Galeri Direnci (Ns^2/m^{-8}).

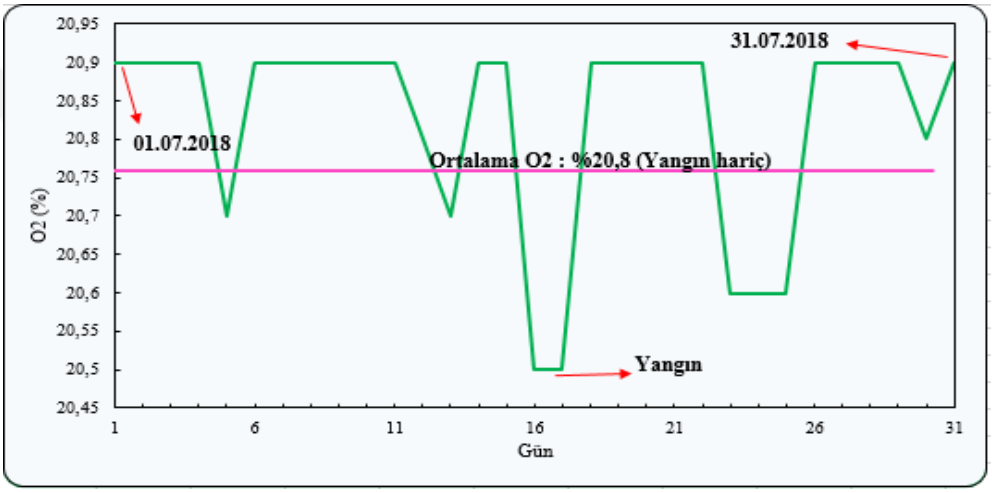
4.2 HAVALANDIRMA ÖLÇÜM ANALİZLERİ:

Tablo 4.2'de özellikleri verilen E2K2 ve A2K galerilerinin Ömerler Yeraltı Madeni'nden 2018 yılında alınan gaz, sıcaklık ve nem ölçümleri Şekil 4.4-4.15'de verilmiştir. Bu değerlerin bir kısmı EK 1 ve EK 2 verilmiştir. Bu ölçümdeki değişiklikler araştırma sırasında maden şirketi tarafından elde edilen ölçüm değerleri ve kayıtlar kullanılarak hesaplanmıştır. Değişiklikleri belirlemenin temel amacı, kendiliğinden yanmanın büyüklüğünü bulmaktır. Optimizasyon, ventilasyon değerlerine ve ölçümlerine, göçük geçirgenliğinin ve akış hızının dağılımına ve göçük ve hava yollarındaki dağılıma bağlıdır.



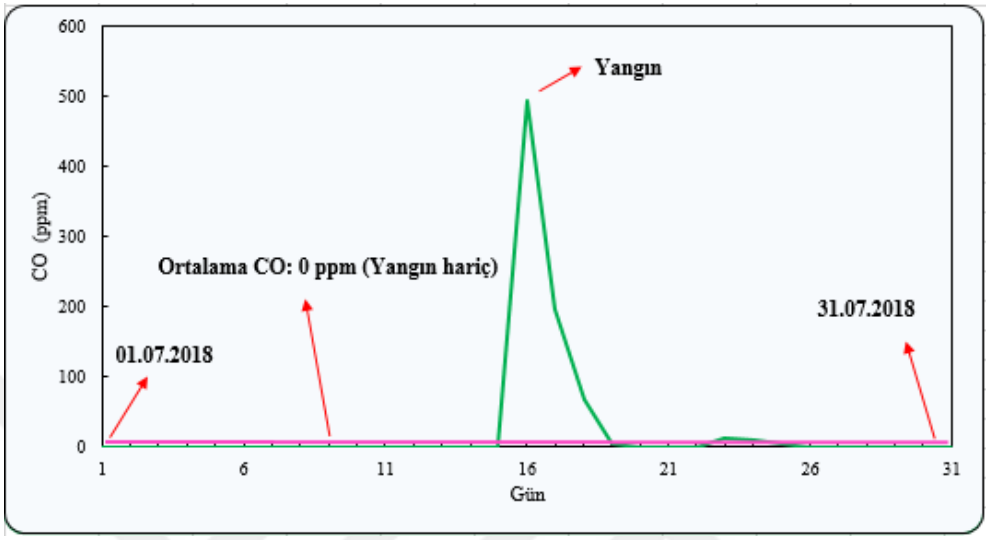
Şekil 4.4: 7. İstasyona Ait CO_2 Değişimi.

Şekil 4.4'de görüldüğü gibi E2K2 galerisi için 2018 yılı CO_2 ölçümü ortalaması ~%0,12 olmuştur. Ancak bu değer 16.07.2018 -25.07.2018 tarihleri arasında oluşan yangın sırasında oldukça artmış ve maksimum %0,5 değerine kadar ulaşmıştır. CO_2 gazının maden ocakları içerisinde müsaade edilen limit değeri maksimum %0,5'dir. Yangının söndürülmesi ile beraber galeri içerisindeki CO_2 değeri tekrar ortalama değerine düşmüştür.



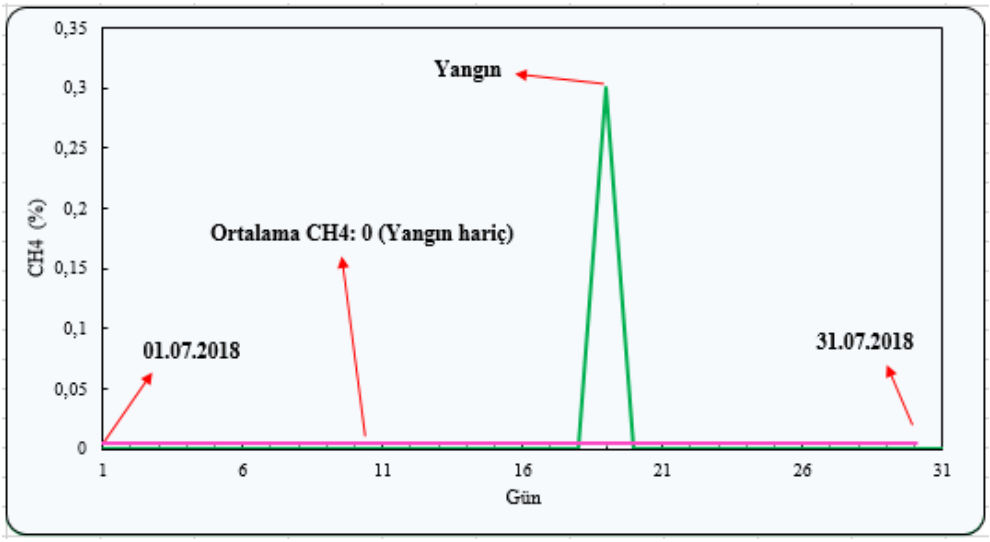
Şekil 4.5: 7.İstasyona Ait O_2 Değişimi.

Şekil 4.5'da görüldüğü gibi E2K2 galerisi için 2018 yılı O_2 ölçümü ortalaması ~%20,8 olmuştur. Bu değer havada normal şartlarda kabul edilen %20,9 O_2 değerine oldukça yakındır. Ancak bu değer 16.07.2018-25.07.2018 tarihleri arasında oluşan yangın sırasında beklenildiği gibi hava içeriğindeki diğer gazların artması ile beraber oldukça azalmış ve %20,5 değerine kadar düşmüştür. O_2 gazının maden ocakları içerisinde müsaade edilen limit değeri minimum %19'dur. Yangının söndürülmesi ile beraber galeri içerisindeki O_2 değeri tekrar ortalama değerine yükselmiştir.



Şekil 4.6: 7. İstasyona Ait CO Değişimi.

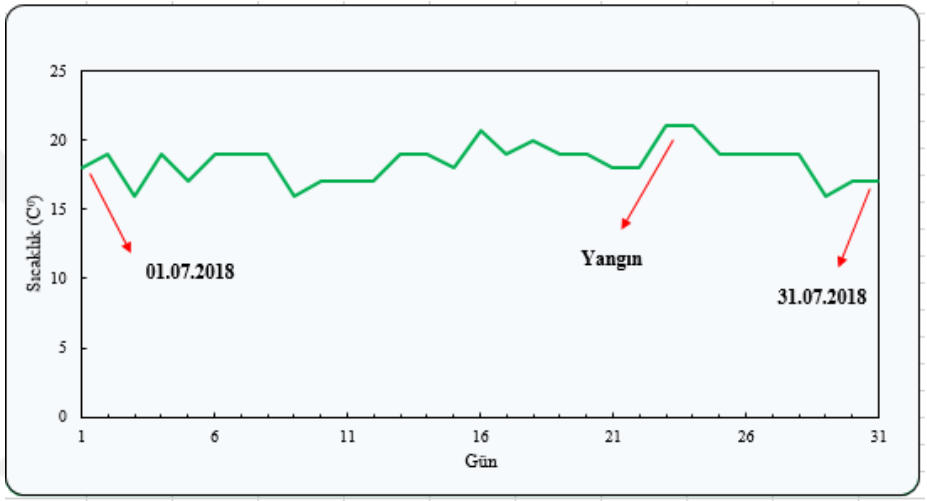
Şekil 4.6'da görüldüğü gibi E2K2 galerisi için 2018 yılı CO ölçümü ortalaması 0 ppm olmuştur. Ancak bu değer 16.07.2018-25.07.2018 tarihleri arasında oluşan yangın sırasında beklenildiği gibi oldukça artmış ve maksimum 500 ppm değerine kadar ulaşmıştır. CO gazının maden ocakları içerisinde müsaade edilen limit değeri maksimum 50 ppm'dir. Yangının söndürülmesi ile beraber galeri içerisindeki CO değeri tekrar ortalama değerine yükselmiştir



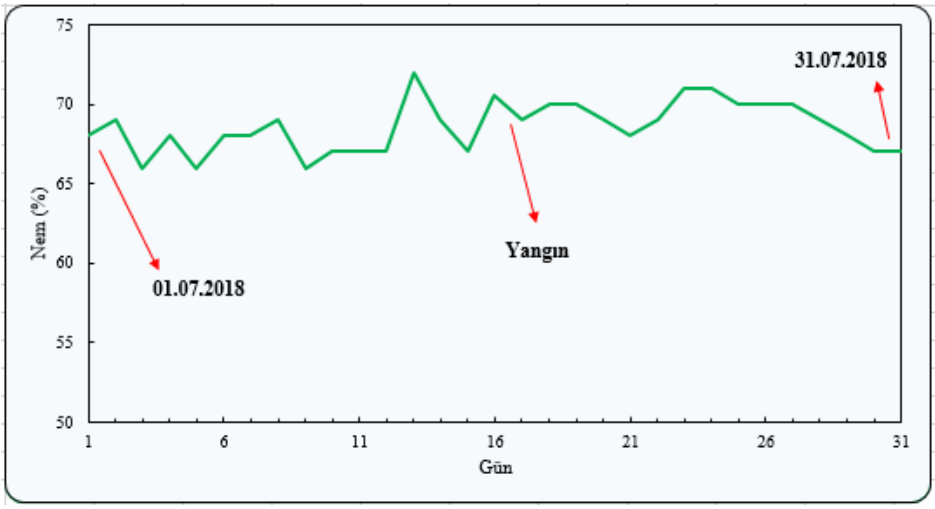
Şekil 4.7: 7. İstasyona Ait CH_4 Değişimi.

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi E2K2 galerisi için 2018 yılı CH_4 ölçümü ortalaması 0 ppm

olmuştur. Ancak bu değer 16.07.2018-25.07.2018 tarihleri arasında oluşan yangın sırasında beklenildiği gibi oldukça artmış ve maksimum %0,3 değerine kadar ulaşmıştır. CH_4 gazının maden ocakları içerisinde müsaade edilen limit değeri maksimum %1'dir. Yangının söndürülmesi ile beraber galeri içerisindeki CH_4 değeri tekrar ortalama değerine yükselmiştir.



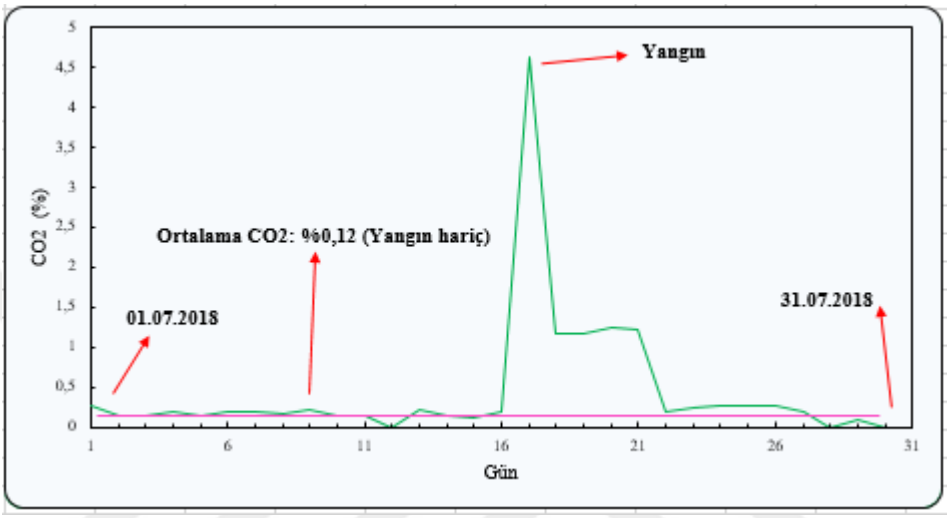
Şekil 4.8: 7. İstasyona Ait Sıcaklık Değişimi.



Şekil 4.9: 7. İstasyona Ait Nem Değişimi.

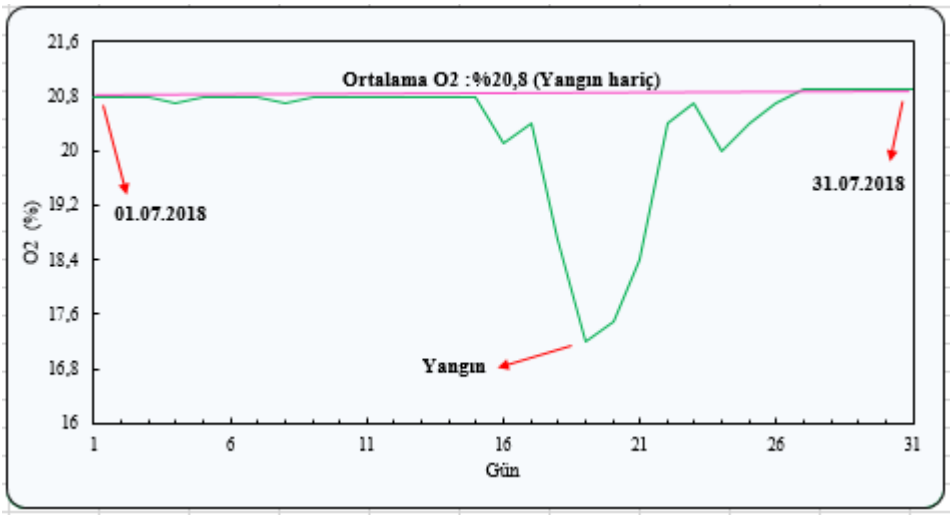
Şekil 4.8 ve 4.9'da görüldüğü gibi ocak içerisindeki sıcaklık ve nem değerleri mevsimsel değişimlere göre sıcaklık için ~ 14-22 ^{0}C değerleri arasında, nemlilik için ise ~ %64-73

değerleri arasında ölçülmüştür. Bu değerler 16.07.2018-25.07.2018 tarihleri arasında oluşan yangın sırasında da fazla miktarda bir değişim göstermemiştir.



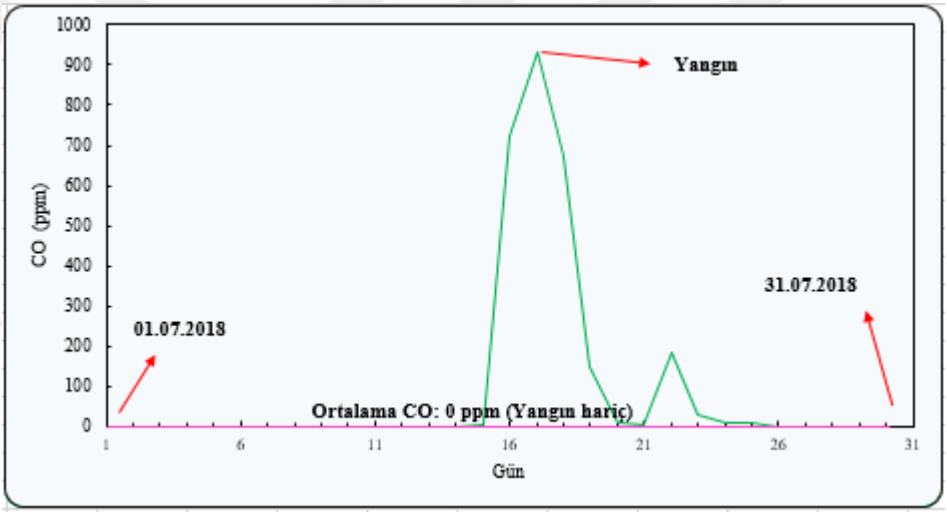
Şekil 4.10: 9. İstasyona Ait CO2 Değişimi.

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi A2K galerisi için 2018 yılı CO_2 ölçümü ortalaması ~ %0,16 olmuştur. Ancak bu değer 16.07.2018 - 25.07.2018 tarihleri arasında oluşan yangın sırasında oldukça artmış ve maksimum %4,5 değerine kadar ulaşmıştır. CO_2 gazının maden ocakları içerisinde müsaade edilen limit değeri maksimum %0.5'dir. Yangının söndürülmesi ile beraber galeri içerisindeki CO_2 değeri tekrar ortalama değerine düşmüştür.



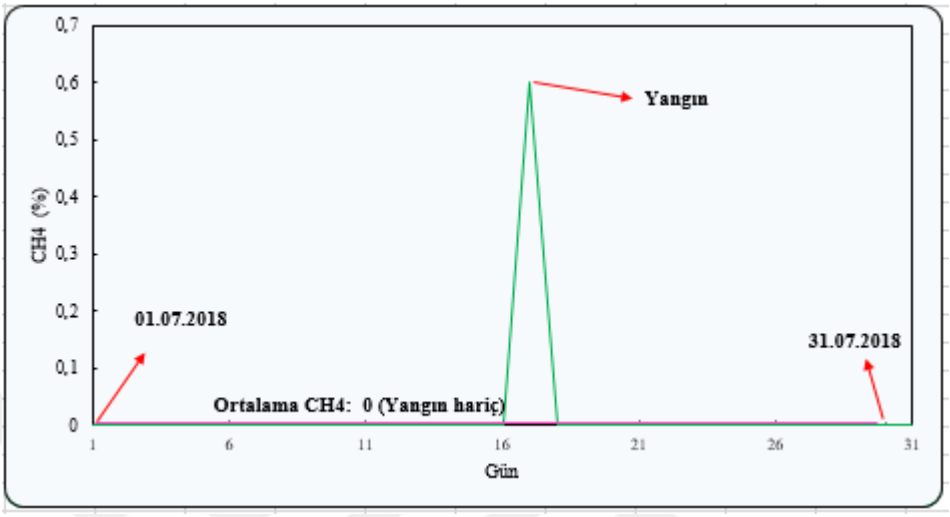
Şekil 4.11: 9. İstasyona Ait O_2 Değişimi.

Şekil 4.11'de görüldüğü gibi A2K galerisi için 2018 yılı O_2 ölçümü ortalaması ~ %20,8 olmuştur. Bu değer havada normal şartlarda kabul edilen %20.9 O_2 değerine oldukça yakındır. Ancak bu değer 16.07.2018-25.07.2018 tarihleri arasında oluşan yangın sırasında beklenildiği gibi hava içeriğindeki diğer gazların artması ile beraber oldukça azalmış ve %17 değerine kadar düşmüştür. O_2 gazının maden ocakları içerisinde müsaade edilen limit değeri minimum %19'dur. Yangının söndürülmesi ile beraber galeri içerisindeki O_2 değeri tekrar ortalama değerine yükselmiştir.



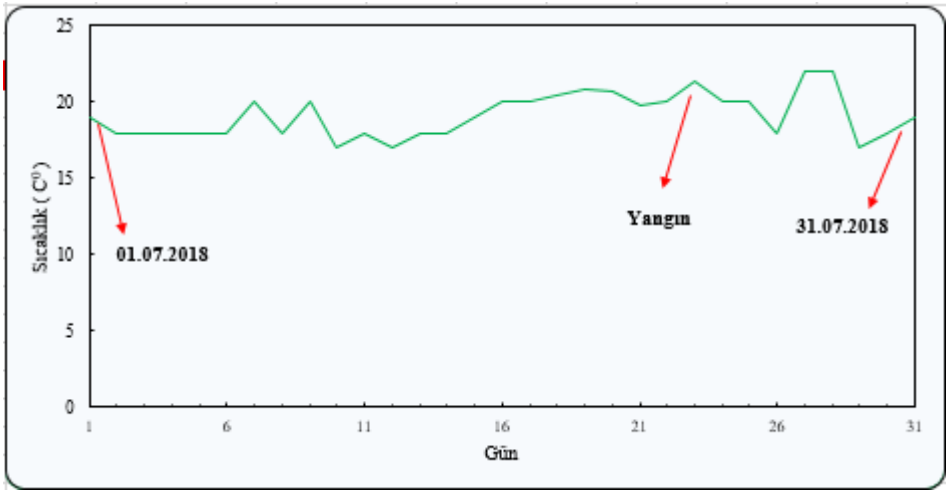
Şekil 4.12: 9. İstasyona Ait CO Değişimi.

Şekil 4.12'de görüldüğü gibi A2K galerisi için 2018 yılı CO ölçümü ortalaması 0 ppm olmuştur. Ancak bu değer 16.07.2018-25.07.2018 tarihleri arasında oluşan yangın sırasında beklenildiği gibi oldukça artmış ve maksimum 900 ppm değerine kadar ulaşmıştır. CO gazının maden ocakları içerisinde müsaade edilen limit değeri maksimum 50 ppm'dir. Yangının söndürülmesi ile beraber galeri içerisindeki CO değeri tekrar ortalama değerine yükselmiştir.

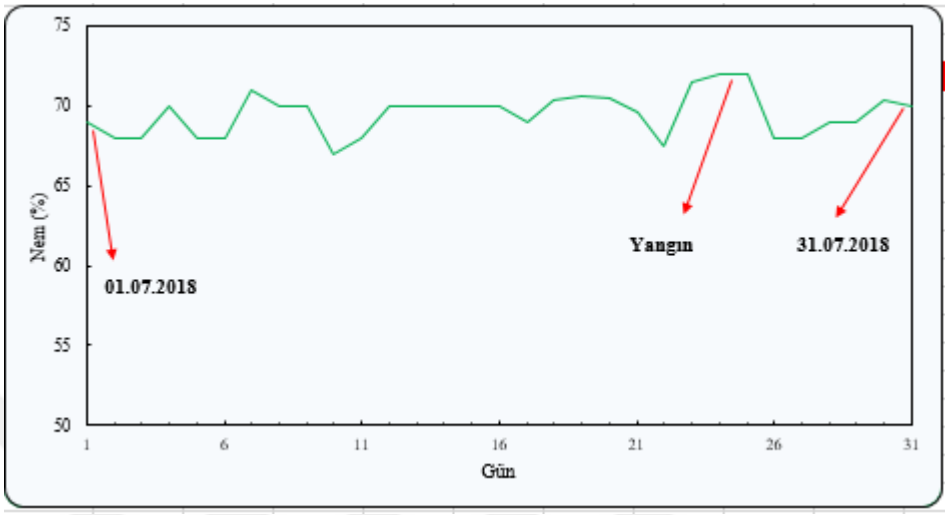


Şekil 4.13: 9. İstasyona Ait CH_4 Değişimi.

Şekil 4.13'de görüldüğü gibi A2K galerisi için 2018 yılı CH_4 ölçümü ortalaması 0 ppm olmuştur. Ancak bu değer 16.07.2018-25.07.2018 tarihleri arasında oluşan yangın sırasında beklenildiği gibi oldukça artmış ve maksimum %0,6 değerine kadar ulaşmıştır. CH_4 gazının maden ocakları içerisinde müsaade edilen limit değeri maksimum %1'dir. Yangının söndürülmesi ile beraber galeri içerisindeki CH_4 değeri tekrar ortalama değerine yükselmiştir.



Şekil 4.14: 9. İstasyona Ait Sıcaklık Değişimi.



Şekil 4.15: 9. İstasyona Ait Nem Değişimi.

Şekil 4.14 ve 4.15'de görüldüğü gibi ocak içerisindeki sıcaklık ve nem değerleri mevsimsel değişimlere göre sıcaklık için ~ 14-24 ^{0}C değerleri arasında, nemlilik için ise ~%65-75 değerleri arasında ölçülmüştür. Bu değerler 16.07.2018-25.07.2018 tarihleri arasında oluşan yangın sırasında da fazla miktarda bir değişim göstermemiştir. Şekil 4.4-4.15 'da verilen tüm ölçüm sonuçları Tablo 4.5'de özetlenmiştir.

Tablo 4.5: 2018 Yılı Ocak İçi Ölçüm Sonuçları (yangın dönemi ve normal dönem).

Galeri	Ortalama Değerler						Maksimum Değerler (Yangın Dönemi)					
	O2 (%)	CO (ppm)	CH4 (%)	CO2 (%)	Sıc. (C^o)	Nem (%)	O2 (%)	CO (ppm)	CH4 (%)	CO2 (%)	Sıc. (C^o)	Nem (%)
A2K	20,8	0	0	0,16	14-24	65-75	17	900	0,6	4,5	14-24	65-75
E2K	20,8	0	0	0,12	14-22	64-73	20,5	500	0,3	0,5	14-22	64-73

Ocakta bir gizli yangının tespiti, ocak havasının analizi ile mümkündür. Ocakta yangının varlığını tespit etmek amacıyla bazı yangın ürünü gazların oranları kullanılmaktadır. Bu oranlar Graham's Ratio (GR), Partington's Ratio (PTR), CO/CO2 Ratio ve Young's Ratio (YR) olarak sıralanabilir (Yalçın, 2017).

$$GR=\frac{100xCO_{final}}{0.265xN_{2final}-O_{2final}} \quad (4.3)$$

$$PTR=\frac{N2}{CO+CO_2} \quad (4.4)$$

$$\frac{CO}{CO_2}=\frac{CO_{final}-CO_{initial}}{CO_{2final}-CO_{2initial}} \quad (4.5)$$

$$YR=\frac{CO_2-0.035}{0.268xN_2-O_2} \quad (4.6)$$

Yukarıda verilen eşitlikler ve Tablo 4.5'de verilen gaz analiz sonuçları kullanılarak yangın halindeki gaz oranları hesaplanmış ve Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6: Yangın Dönemindeki Gaz Oranları.

Galeri	GR	PTR	CO/CO_2	YR
A2K	0.2	14.6	0.2	1.1
E2K2	2.1	78.8	1.0	0.7

Tablo 4.6'daki gaz oranları incelendiğinde E2K2 galerisinde Graham oranının 2 değerini geçtiği görülmektedir. Bu durum ocak içerisinde bir yangın oluşumuna işaret olduğunu göstermektedir. Ayrıca CO/CO_2 oranlarının yüksek olmasıda bu durumu desteklemektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında yeraltı kömür madeni için hava akış dağılımı, gaz ölçüm ve kendiliğinden yanma parametreleri incelenmiştir. Gazların değerlendirilmesi için Ömerler Yeraltı Madeni'nin merkezi gaz izleme sisteminin kayıtlarından yararlanılmıştır. 9. (A2K) ve 7. (E2K2) istasyonda ölçülen havalandırma değerleri hesaplanmış ve doğruluğu hava dağılımı programı (Ventsim) yardımıyla analiz edilmiştir.

Tablo 4.4'de bulunan 9. (A2K) istasyona ait hesaplanan hava hızı ve basınç değerlerinin hesaplanması yoluyla gerektiğinde bu değerlerin kontrol altına alınarak bir söndürme senaryosu uygulanabileceği göz önünde bulundurulmuştur.

Şekil 4.4 - 4.7'de görüldüğü üzere 7. (E2K2) istasyona ait karbondioksit (CO_2) konsantarasyonu ortalama 0,12% iken yanma zamanı değerler artarak en fazla % 0,5'e yükselmiştir. Ortalama oksijen (O_2) %20,8 iken diğer gazların artmasıyla birlikte azalarak %20,5 değerine düşmüştür. Karbonmonoksit (CO) değeri ortalama 0 ppm iken yanma olduğunda 500 ppm yani 0,05%'e yükselmiştir. Aynı istasyona ait tehlikeli gaz değerlerinden olan metan (CH_4) maksimum %0,3 değerine yükselmiştir. Alınan gaz değerlerinden Graham (2,1) ve benzeri oranların yükselmesi yangın oluşumuna işaret etmektedir. Sonuç olarak yer altında gaz değerlerinden haberdar olmak, kendiliğinden yanmanın tespitinde yardımcı parametrelerdendir.

Yapılan ölçümler, hesaplamalar, gözlemler ve işletmeden alınan bilgiler yoluyla kendiliğinden yanmanın olduğu anlaşılmıştır. Bu çalışmanın sonraki aşaması ise yeraltı kömür yangınlarının en sık görüldüğü göçüklerdeki boşlukların uygun bir jeomalzeme ile doldurularak, göçükteki kömürlerin oksijen ile temasının önlenmesi olmalıdır. Bu amaç doğrultusunda, göçük içerisindeki boşluk miktarının hesaplanması, hava dağılımının belirlenmesi ve optimum enjeksiyon noktalarının bulunması gelecek yenilikçi araştırma konuları olacaktır. Hesaplanan ve ölçülen değerler doğrultusunda ileride bir tahmin modeli oluşturmak ve uygun bir söndürme malzemesiyle yanmanın önlenmesi mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

Graham, J.I. 1914, Absorption of oxygen by coal. Trans. Inst. Of Mining Engrs., U.K., Vol. 48, p 521.

Banerjee, S.C. 1985, Spontaneous combustion of coal and mine fires CMRS, Dhanbad, India. Published by Balkema.

Ayvazoglu, E., 1984, Madenlerde Havalandırma ve Emniyet, İTÜ Yayınları, No:3, İstanbul, s.303.

Bauer, B. E. R. ve Dolinar, D. R., Skin Failure of Roof and Rib and Support Techniques in Underground Coal Mines, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), s. 99-109, Pittsburgh, 1999.

Saraç, S., ve Soytürk, T., 1992; "Tunçbilek Kömürlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlıklarının Araştırılması", Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 141-152.

Saraç, S., 1992, Yeraltı kömür ocaklarında kendiliginden yanma, Anadolu Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Yayınları, 106, 118 s.

Biçer, İ., 2011, GLİ Tunçbilek kömürlerinde kendiliğinden yanmanın sıkışma etkisine bağlı olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , 64 s.

Çakır, A., 2003, Zonguldak havzası kömür damarından elde edilecek kendiliğinden yanma verilerinin bir uzman sistem programı ile değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 186 s.

Feng, K.K., Chakravorty, R.N. ve Cochrane, T.S., 1973; "Spontaneous Combustion - A Coal Mining Hazard", CIM Bulletin, Cilt. 66, s.75-84.

McPherson, M.J., 1988, An Analysis of the Resistance and Airflow Characteristics of Mine Shafts. 4th Internetional Mine Ventilation Congress, Brisbane, Australia

Mahidin U., Hiramoto U., Ishikawa S., 2002. The Evaluation of Spontaneous Combustion Characteristics and Properties of Raw and Upgraded Indonesian Low Rank Coals. Coal Preparation, 22, 81-91.

Beamish, B. B., Arisoy, A., 2008. Effect of Mineral Matter on Coal Self-heating Rate. Fuel, 87, 125-130.

Qi, X., Wang, D., Milke, J.A., Zhong, X., 2011. Crossing Point Temperature of Coal. Mining Science and Technology (China), 21, 255-260.

Özdeniz, A.E., 2003. Kömür Stoklarındaki Kendiliğinden Yanma Olayının İncelenmesi - Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Örneği. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 185 s.

Winmill, T.F.,1915. The absorption of oxygen by coal. VIII. The effect onthe absorption on the size of the coal—Particles and the percentage ofoxygen in the air.Trans. Inst. Miner Eng., London,51, 493

Choudhury, D., Sarkar, A. ve Ram, L. C., 2016. An Autopsy of Spontaneous Combustion of Lignite, International Journal of Coal Preparation and Utilization, 36, 2, 109-123.

Wang, H., Dlugogorski, B. Z., Kennedy, E. M., 2003. Coal Oxidation at Low Temperatures: Oxygen Consumption, Oxidation Products, Reaction Mechanism and Kinetic Modeling. Progress in Energy and Combustion Science, 29, 487-513.

Xu, T., Wang, D., He, Q., 2013. The Study of the Critical Moisture Content at Which Coal Has the Most High Tendency to Spontaneous Combustion. International Journal of Coal Preparation and Utilization, 33, 117-127.

Xia, T., Zhou, F., Gao, F., Kang, J., Liu, J., Wang, J., 2015a. Simulation of Coal Self-heating Processes in Underground Methane-rich Coal Seams. International Journal of Coal Geology, 141–142, 1-12.

Zapletal, P., Koudelkova, J., Zubicek, V., Kral, T., Mokrosova, A., 2018. A New Method of Gas Drainage as a Solution for Dangerous Phenomena in Underground Coal Mines. The Mining-Geology- Petroleum Engineering Bulletin, 7-12.

Gürdal, G., Hoşgörmez, H., Özcan, D., Li, X., Liu, H., Song, W., 2015. The properties of Çan Basin Coals (Çanakkale – Turkey): Spontaneous Combustion and Combustion By-products. International Journal of Coal Geology, 138, 1-15.

Sipilä, J., Auerkari, P., Heikkilä, A.N., Tuominen R., Vela, I., Itkonen J., Rinne, M., Aaltonen, K., 2012. Risk and Mitigation of Self-heating and Spontaneous Combustion in Underground Coal Storage. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 25, 617-622.

Belle, B., Biffi, M., 2018. Cooling Pathways for Deep Australian Longwall Coal Mines of the Future. International Journal of Mining Science and Technology; Doi: 10.1016/j.ijmst.2018.02.001.

Choi, H., Thiruppathiraja, C., Kim, S., Rhim, Y., Lim, J., Lee, S., 2011. Moisture Readsorption and Low Temperature Oxidation Characteristics of Upgraded Low Rank Coal. Fuel Processing Technology, 92, 2005-2010.

Demirbilek, S., 1986, The development of a spontoneous cobustion risk classifiction system for coal seems, Doktora Tezi, Nothingom Universty,

Didari, V., 1986 Yeraltı ocaklarında kömürün kendiliğinden yanması ve risk indeksleri, Madencilik Aralık, ss. 31-32.

Düzgün, H. S. B., Analysis of roof fall hazards and risk assessment for Zonguldak coal basin underground mines, International Journal of Coal Geology, Sayı: 64, Sayfa: 104 - 115, Ankara, 2005.

Eroğlu. N., Gouws. M. J. ,1993, Kömürün kendiliğinden yanmasına ait kuramlar, Madencilik Haziran, ss. 13-18.

Feng, K.K., 1985, Spontaneous combustion of Canadian coals, CIM Bulletin, 78, 877, 71 Graham, J.I., 1930; The Gaseous Products Resulting from Fires and Underground Heatings, Trans.Inst.Min.Engrs.

Guney, M., 1968, Certain factors affecting the oxidation and spontaneous combustion of coal, University of Nottingham Mining Department Magazine,p. 20-71.

Hoek, E. ve Brown, E. T., Underground Excavations in Rock (İkinci Baskı), The Institution of Mining and Metallurgy, Londra, 1982.

Humpreys D., and Richmand, A., 1983, Ventilation Practice of extraction Panels in Seams Lıable to Spontaneous Combustion, Aust, IMM Illawarra Branch Symposium on Ventilation in Coal Mines, May.

Tripathi, D. D, 2005, "Control and Prevention of Coal Fires in Sealed-Off Mine Areas Using Different Means of Inertization Mine Fire Laboratory", International Research for Sustainable Control and Management, Spontaneous Coal Seam Fires: Mitigating a Global Disaster, International Conference, pp. 553-566, Tsinghua University Press, Springer, Beijing, P.R. China.

Wessling S, Litschke T, Wiegand J, Schlömer S, Kessels W, 2005, Simulating Dynamic Subsurface Coal Fires and Its Applications Spontaneous Coal Seam Fires: Mitigating a Global Disaster, International Conference, Beijing, China.

Xinhai, Z. Jianzhong, X. Guang, X. Jun, D. and Hu W, 2005, "Model and Control of High-Temperature Coal Fires", International Research for Sustainable Control and Management, Spontaneous Coal Seam Fires: Mitigating a Global Disaster, International Conference, pp. 544-553, Tsinghua University Press, Springer, Beijing, P.R. China.

Yuan L, Smith A, 2012 The effect of ventilation on spontaneous heating of coal J. Loss Prev. Process Ind., 25 (1) (2012), pp. 131-137.

Long F and Shimin L, 2017, A conceptual model to characterize and model compaction behaviour and permeability evolution of broken rock mass in in coal mine gobs, Int. J. of Coal Geology, 172 (2017), pp. 60-70.

Esterhuizen, G. S. and Karacan, C. Ö. 2005. Development of Numerical Models to Investigate Permeability Changes and Gas Emission around Longwall Mining Panel. In: Alaska Rocks 2005, The 40th US Symposium on Rock.

Esterheuizen, G. S., and Karacan C. O., 2007., A Methodology for Determinig Gob Permeability Distributions and Its Applications to Reservoir Modelling of Coal Mine Longwalls; NIOSH, Pittsburgh, PA, USA.

Akkiraz, S.M., Akgun, F., Utescher, T., Wilde, V., Bruch, A.A., Mosbrugger, V.,Ucbas, D.S. (2012). Palaeoflora and climate of lignite-bearing Lower–Middl Miocene sediments in the Seyitömer and Tunçbilek Sub-basins, Kütahya Province, Northwest Turkey", Turkish Journal of Earth Sciences, 21, 213-23.

Başarır, H., and Karpuz, C., 2004. "A rippability classification system for marls in lignite mines" Engineering Geology, v. 74, 303–318 p.

Fişne, A., Esen, O., Üğdül, İ., Akdaş, S., GLİ Ömerler Yeraltı Ocağı Kömür Damarlarının Gaz İçeriği ve Gaz Bileşiminin Araştırılması, 2016 İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi.

Özfirat M. K, Ferhan Ş., Gönen A, Pamukçu Ç., Yürüyen Tahkimat Penceresinin Kömür Kaybına Etkisi., DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi Cilt: 10 Sayı: 1 Sh.15-26 Ocak 2008 ; http://web.deu.edu.tr/fmd/s28/28-02.pdf .

Cvetković, V., Čokorilo, V., Lilić, N., Wagner, D., Milisavljević, V., Cvjetić, A., Förster, I., Yeraltı Kömür Çikarma Yöntemlerinin Belirlenmesi Maden Planlama Ve Projelerin Hazirlanmasi,Belgrad Üniversitesi Madencilik ve Jeoloji Fakültesi adına Madencilik ve Jeoloji FakültesiUniversity of Belgrade,2012.

Lilić N., Čokorilo V., Cvjetić A., Milisavljević V., Ventılatıon Plannıng and Design of The Omerler B Mine, Underground Mınıng Engıneerıng 21 (2012) 121-130 Udk 62.

GLİ Tunçbilek Ömerler Yerlatı Madeni Havalandırma raporu, 2019.

Thakur, P. (2011). Gas and Dust Control. SME Mining Engineering Handbook, 3th Edition, Published by SME Inc. USA. pp. 1595 - 1609.

Köse, H., Yenice, H., Onur, A.H., Yalçin, E., Konak, G., Tki-Gli Müessesesi Ömerler Yeralti Ocağı Tavan Kontrolü- Tahkimat Tasarimi Ve Ocak Yanginlari Ar-Ge Projesi,2012 Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.

Karpuz, C., Güyagüler, T., Bağcı, S., Bozdağ, T., Başarır, H. Ve Keskin, S., 2000; "Linyitlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlık derecelerinin tespiti: bölüm 1 – risk sınıflaması derlemesi, Madencilik dergisi Sayı: 39/3-4 Cilt: Eylül-Aralık.

Yalçın E., 2017 Yeraltı Havalandırması, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Yayınları, İzmir.

Kröger, C., Beıer, E., 1962, Dıe verwıtterung von steınkohlen, Brennstoff -chemie, p.11- 43

Yuan, L. and Smith, A. C., 2006. Effects of ventilation and gob characteristics on spontaneous heating in longwall gob areas, NIOSH Pittsburgh Research Laboratory, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

Zang J. G. and Suo C. Y., 2016. Study of Coal Mine Ventilation System Optimization based on Ventsim, MATEC Web of Conferences, DOI: 10.1051/matecconf/20164402016.

Kural, O., 1998, Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri, Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş., 785 s.

Mine Safety and Health Administration (MSHA), Roof and Rib Control - Coal Miner's Handbook, National Mine Health and Safety Academy, 2008.

Mines Occupational Safety and Health Advisory Board, Surface Rock Support for Underground Mines - Code of Practice, The Government of Western Australia, 1999.

Ören, Ö., 2006, Kütahya bölgesi linyitlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 82 s.

Ören, Ö. ve Şensöğüt, C., 2007; "Kütahya Bölgesi Linyitlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlıklarının Araştırılması", Madencilik Dergisi, Cilt 46, Sayı 1, Sayfa 15-23.

Pappas, D. M., ve Mark, C., Roof and rib fall incident trends: a 10-year profile, Transactions of the Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Sayı: 330, Sayfa: 462–478., Pittsburgh, 2012.

Ramlu, M. A., 1991, Mine Disasters and Mine Rescue, A.A. Balkema, Rotterdam, ss.397

Wade, L., 1988, The propensity of South Africa coals to spontoneously combusl, Ph D. Thesis, Universty of the Witvatersrand.

EKLER

EK 1. Ömerler Yeraltı Madeni'nin Temmuz ayı 2018 için 7. istasyona ait gaz, sıcaklık ve nem değerleri:

Tarih	O_2(%)	CO(ppm)	CH_4(%)	CO_2(%)	Sıcaklık °C	Nem (%)
1.Tem	20,9	0	0	0,15	18	68
2.Tem	20,9	0	0	0,14	19	69
3.Tem	20,9	0	0	0,09	16	66
4.Tem	20,9	0	0	0,14	19	68
5.Tem	20,7	0	0	0,11	17	66
6.Tem	20,9	0	0	0,13	19	68
7.Tem	20,9	0	0	0,2	19	68
8.Tem	20,9	0	0	0,14	19	69
9.Tem	20,9	0	0	0,08	16	66
10.Tem	20,9	0	0	0,1	17	67
11.Tem	20,9	0	0	0,09	17	67
12.Tem	20,8	0	0	0,09	17	67
13.Tem	20,7	0	0	0,18	19	72
14.Tem	20,9	0	0	0,13	19	69
15.Tem	20,9	0	0	0,11	18	67
16.Tem	20,5	495	0	0,19	20,7	70,5
17.Tem	20,5	198	0	0,19	19	69
18.Tem	20,9	69	0	0,5	20	70
19.Tem	20,9	6	0,3	0,13	19	70
20.Tem	20,9	0	0	0,13	19	69
21.Tem	20,9	0	0	0,14	18	68
22.Tem	20,9	0	0	0,12	18	69
23.Tem	20,6	13	0	0,25	21	71
24.Tem	20,6	10	0	0,14	21	71
25.Tem	20,6	6	0	0,16	19	70
26.Tem	20,9	0	0	0,17	19	70
27.Tem	20,9	0	0	0,16	19	70
28.Tem	20,9	0	0	0,14	19	69
29.Tem	20,9	0	0	0,08	16	68
30.Tem	20,8	0	0	0	17	67
31.Tem	20,9	0	0	0,08	17	67

EK 2. Ömerler Yeraltı Madeni'nin Temmuz ayı 2018 için 9. istasyona ait gaz, sıcaklık ve nem değerleri:

1.Tem	20,8	0	0	0,28	0	19	69
2.Tem	20,8	0	0	0,14	0	18	68
3.Tem	20,8	0	0	0,14	0	18	68
4.Tem	20,7	0	0	0,19	0	18	70
5.Tem	20,8	0	0	0,13	0	18	68
6.Tem	20,8	0	0	0,18	0	18	68
7.Tem	20,8	0	0	0,18	0	20	71
8.Tem	20,7	0	0	0,17	0	18	70
9.Tem	20,8	0	0	0,21	0	20	70
10.Tem	20,8	0	0	0,14	0	17	67
11.Tem	20,8	0	0	0,14	0	18	68
12.Tem	20,8	0	0	0	0	17	70
13.Tem	20,8	0	0	0,22	0	18	70
14.Tem	20,8	0	0	0,14	0	18	70
15.Tem	20,8	2	0	0,12	0	19	70
16.Tem	20,1	721	0	0,18	0	20	70
17.Tem	20,4	930	0,6	4,63	0	20	69
18.Tem	18,7	675	0	1,17	0	20,5	70,3
19.Tem	17,2	147	0	1,17	0	20,8	70,6
20.Tem	17,5	7	0	1,24	0	20,7	70,5
21.Tem	18,4	5	0	1,22	0	19,8	69,6
22.Tem	20,4	181	0	0,18	0	20	67,4
23.Tem	20,7	30	0	0,25	0	21,4	71,5
24.Tem	20	7	0	0,27	0	20	72
25.Tem	20,4	9	0	0,28	0	20	72
26.Tem	20,7	0	0	0,26	0	18	68
27.Tem	20,9	0	0	0,2	0	22	68
28.Tem	20,9	0	0	0	0	22	69
29.Tem	20,9	0	0	0,1	0	17	69
30.Tem	20,9	0	0	0	0	18	70,3
31.Tem	20,9	0	0	0	0	19	70